DÉCOUVERTE Les nouvelles pistes de traitement de l'AVC p. 68

© ADIKE/SHUTTERSTOCK - FOXYPICTURES/SHUTTERSTOCK
NATIONAL MUSEUM OF HISTORY - LA RECHERCHE

SCIENCES ET AVENIR
La Recherche

TEMPÊTES
CHALEUR EXTRÊME
INONDATIONS

Ce que prévoient les scientifiques

+ LES CARTES DE FRANCE des zones exposées

OXUS
Civilisation disparue p. 82

Vers la première détection de
l'énergie noire
p. 54

L 13418 - 897 - F: 5,30 € - RD

NOVEMBRE 2021 - N° 897 - ALLEMAGNE 7,40 € / AUTRICHE 6,50 € / ITALIE 5,70 € / LUXEMBOURG 5,70 € / GRÈCE 5,70 € / BELGIQUE 5,70 € / ESPAGNE 5,70 € / DOM 5,90 € / DOM-AVION 7,90 € / ANDORRE 5,40 € / PORTUGAL 5,70 € / TOM 800 XPF / ILE MAURICE : 8,60€ / TOM (AVION) 1500 XPF / SUISSE 9,50 CHF / TUNISIE 10 TND / MAROC 55 DH / CANADA-USA 8,20 $

SCIENCES ET AVENIR / LA RECHERCHE - N° 897 - NOVEMBRE 2021 - TEMPÊTES, CHALEUR EXTRÊME, INONDATIONS

NOUVELLE **308** HYBRIDE

Unique

Nouveau PEUGEOT i-Cockpit® 3D*

Système d'infotainment[1] personnalisable*

Jusqu'à 60 km d'autonomie électrique*

Au quotidien, prenez les transports

PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL **Consommation mixte WLTP[2] : 1,1 à 1,2 l/100 km ; Emissions de CO_2 WLTP[2] :24 à 27 g/km.**

* De série, en option ou indisponible selon les versions. [1] Infotainment = info-divertissement [2] Ces valeurs peuvent varier en fonction des conditions réelles d'utilisation et de différents facteurs. Plus d'informations auprès de votre point de vente ou sur https://www.peugeot.fr/marque-et-technologie/wltp.html. OPEn - Automobile PEUGEOT 552 144 503 RCS Versailles

en commun. #SeDéplacerMoinsPolluer

MARIE-JOSÉ PÉREC
TRIPLE CHAMPIONNE OLYMPIQUE DE 400M ET 200M & DOUBLE CHAMPIONNE DU MONDE.

MGEN, Mutuelle Générale de l'Éducation Nationale, immatriculée sous le numéro SIREN 775 685 399, MGEN Vie, immatriculée sous le numéro SIREN 441 922 002, MGEN Filia, immatriculée sous le numéro SIREN 440 363 588, mutuelles soumises aux dispositions du livre II du Code de la mutualité. MGEN Action sanitaire et sociale, immatriculée sous le numéro SIREN 441 921 913, MGEN Centres de santé, immatriculée sous le numéro SIREN 477 901 714, mutuelles soumises aux dispositions du livre III du Code de la mutualité. Siège social : 3 square Max-Hymans -75748 Paris CEDEX 15.

BERNARD MARTINEZ

Dominique Leglu
Directrice éditoriale

Demain, la guerre des étoiles ?

C'est peu de dire que « l'affaire des sous-marins australiens » a ébranlé les esprits, la promesse de multiplication d'engins nucléaires dans la région Indopacifique relançant les interrogations sur la menace, demain, de conflits high-tech. De fait, alors que la militarisation des abysses est en œuvre depuis la fin du XIXe siècle, c'en est une autre, complémentaire, qui inquiète aujourd'hui : celle de l'espace. À preuve, cette interrogation « Conquête spatiale : demain, la guerre des étoiles ? » qui était au cœur des discussions fin septembre aux rencontres Géopolitiques de Nantes, auxquelles *Sciences et Avenir* a participé.

Traité de l'espace et paix. Il n'aura pas échappé à nos lecteurs qu'après le lancement en 2019 par Donald Trump d'une *space force* aux États-Unis, il y eut en France, la même année, celui du commandement de l'espace, dépendant du ministère des Armées. En 2021, coup sur coup, en avril et en juillet, ce sont le Royaume-Uni et l'Allemagne qui ont lancé des organes similaires. Avec en toile de fond un traité de l'espace entré en vigueur en 1967, qui interdit explicitement la mise en orbite terrestre d'armes nucléaires ou autres armes de destruction massive, *a fortiori* sur la Lune ou tout objet céleste.

Brouillage et cyberattaques. Alors, guerre possible ou pas guerre ? Les temps ont changé depuis les années 1980 et l'initiative de défense stratégique de Ronald Reagan, surnommée « guerre des étoiles », sobriquet né de la vogue du film *Star War*s. Elle envisageait la construction d'un bouclier spatial capable d'intercepter des missiles balistiques. Les craintes d'aujourd'hui se sont diversifiées et enrôlent de nouvelles technologies. À l'ère du numérique, elles ont pour nom cyberattaques, brouillage de réseaux…

Débris et autodissuasion. Ce ne serait pas tant la destruction d'objets qu'il faudrait alors redouter, avec sa production de montagnes de débris ultradangereux pour humains ou robots montant en orbite. Mais plutôt la manipulation logicielle des engins ou un fonctionnement déboussolé — par un éblouissement laser, par exemple. Une réelle protection des milliers voire des dizaines de milliers de satellites qui sont placés en orbite devient un impératif de sécurité. D'eux, dépendent aujourd'hui nos sociétés connectées, et pas seulement le GPS.

Pearl Harbor digital. Outre les humains déjà en réseau, on projette d'assurer demain la connectivité de milliards et milliards d'objets sur terre et sur mer, dont quantité de liaisons seront assurées *via* l'espace. On veut aussi continuer à mesurer depuis l'orbite comment évoluent l'atmosphère et les océans de la planète, en ces temps de réchauffement du climat. Histoire de… préserver la vie sur Terre. Les spécialistes européens du spatial assurent qu'ils ne joueront pas les boutefeux. On espère le même état d'esprit sur les autres continents. Et aucun Pearl Harbor digital en vue. ■ @dominiqueleglu

COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**

« Explorer l'espace »
(Sciences et Avenir - La Recherche n° 895, septembre 2021)

C'est encore loin Mars ?

Le dossier « Explorer l'espace » s'ouvre sur un tableau intéressant mentionnant le temps de parcours notamment à destination de Mars qui serait de 3 minutes à la vitesse de la lumière. La distance Terre-Soleil est de 150 millions de kilomètres, sa lumière met 8 minutes et 20 secondes à nous parvenir. La distance Terre-Mars est de 79 millions de kilomètres et sa lumière doit mettre 4 minutes et 40 secondes à nous parvenir. Je ne comprends pas pourquoi votre article mentionne 3 minutes.

Claude Laurençon

S. et A. : Le temps de parcours entre la Terre et Mars à la vitesse de la lumière a été calculé en se fondant sur une distance minimale entre les deux planètes, soit environ 54,6 millions de kilomètres. En effet, la distance entre la Terre et Mars varie énormément, mais si l'on envisage de rejoindre Mars, autant le faire lorsqu'elle est au plus près de la Terre ! C'est la raison pour laquelle c'est la distance minimale qui a été retenue comme la plus pertinente.

Magnifiques trésors

Abonné depuis bien longtemps déjà, je tenais à vous féliciter pour votre dossier sur les « 100 trésors scientifiques à découvrir en France » (S. et A. n° 893/894 juillet-août 2021), tellement soigné, qui nous invite à découvrir, à travers ses itinéraires, toutes les beautés souvent ignorées. Je me suis bien régalé et pour tout vous dire, j'ai pris quelques photos pour mes prochaines escapades... Votre revue est à la fois scientifique et faite d'avenir... moi qui à 69 ans parle toujours d'avenir !

Alain Bourgine

S. et A. : Merci pour votre courrier enthousiaste qui nous va droit au cœur. Ce numéro a été un travail de longue haleine de toute l'équipe pour offrir un grand bain d'évasion scientifique, et des retours tels que le vôtre nous réjouissent.

Précisions

Étoiles. Dans la brève d'astrophysique intitulée « 1715 systèmes stellaires avec vue sur Terre » *(S. et A. n° 895, p. 9)*, les 1715 correspondent aux étoiles d'où l'on aurait pu observer des transits de Terre devant le Soleil ces 5000 dernières années. Ce sont 75 de ces étoiles qui ont déjà reçu des ondes radio émises par nous et donc situées à moins d'une centaine d'années-lumière.

Moustique. Contrairement à ce qui a été écrit dans l'article sur le moustique-tigre *(S. et A. n° 893/894, p. 74)*, la deltaméthrine n'est pas un néonicotinoïde, mais un pyréthrinoïde agissant par contact ou ingestion.

© Photo : Christophe Abramowitz / Radio France

BERNARD MARTINEZ

ÉDITO

Carole Chatelain
Directrice de la rédaction

Climat : la preuve est faite

Parmi les scientifiques couronnés du très prestigieux prix Nobel au mois d'octobre, deux ont été distingués en physique pour des recherches dont les implications concernent directement le climat : l'Américain Syukuro Manabe et l'Allemand Klaus Hesselmann simultanément honorés pour leurs travaux conjoints de *« modélisation du climat de la Terre, de quantification de la variabilité et de prévision du réchauffement planétaire » (p. 58)*. Preuve de l'urgence du sujet, c'est précisément aux extrêmes climatiques que nous consacrons notre dossier *(p. 32)*. Et ce à l'heure où les tempêtes, les canicules et inondations rythment notre quotidien. Pas un jour ne se passe, ou presque, sans qu'une nouvelle catastrophe ne nous soit annoncée, en Europe, aux États-Unis ou ailleurs. Fait majeur : la cause principale en est désormais formellement connue et reconnue ! Le Giec, ce groupe d'experts intergouvernemental qui étudie depuis plus de trente ans les changements climatiques, a rendu cet été un 6e rapport qui fera date : il établit — pour la première fois — un lien entre ces extrêmes et le réchauffement en cours, lien jusqu'alors toujours supposé, jamais prouvé. Les études sont désormais flagrantes affirment les experts. Et notre journaliste Loïc Chauveau de nous apprendre que 115 personnes trouvent quotidiennement la mort dans le monde en raison d'une catastrophe naturelle dont il est certain que la plupart sont attribuables *« à l'influence humaine »*. Et la France ? Elle n'est et ne sera épargnée ni par les « dômes de chaleur », les gels précoces, les submersions et autres inondations dont nous expliquons, schémas à l'appui, les mécanismes *(p. 42)*. Nous publions également des cartes d'exposition qui détaillent les zones à risques et anticipent notamment le violent « coup de chaud » que l'Hexagone connaîtra d'ici à trente ans à peine. Pour tenter de freiner le phénomène, les États du globe, qui se réuniront lors de la COP26 à Glasgow (Royaume-Uni) ce mois de novembre, devront relever 4 défis majeurs que nous détaillons *(p. 49)*. Énergie noire, prévention de l'AVC ou encore mise au jour de l'Oxus, splendide civilisation disparue : nous vous proposons également dans ce numéro de poursuivre avec passion votre découverte de l'actualité des sciences. ■ @carolechatelain

> « Le 6e rapport du Giec fera date : il établit, pour la première fois, un lien entre des événements extrêmes et le réchauffement en cours, lien jusqu'alors toujours supposé, jamais prouvé »

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

SERVICE ABONNEMENT
et anciens numéros
Tél. : 01.55.56.71.48
Sciences et Avenir 45, avenue du Général-Leclerc 60643 Chantilly cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

Tarif des abonnements : France, 1 an simple (12 numéros dont un double) : 35 € | 1 an complet (12 numéros dont un double + 4 hors-séries) : 48 € | Étranger : nous consulter.
Abonnements Belgique : Edigroup : tél. 00.32.70.233. 304
Abonnements Suisse : Edigroup : tél. 00.41.22.860.84.01

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris
Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr
Site Internet : sciencesetavenir.fr

Directrice éditoriale Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
Directrice de la rédaction Carole CHATELAIN - 01.55.35.56.57
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01
Rédacteurs en chef Mathieu NOWAK (mensuel) - 01.55.35.56.38
Philippe PAJOT (La Recherche) - 01.70.98.19.29
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (digital) - 01.55.35.56.15
Adjoint à la rédaction en chef
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10
Rédacteur(trice)s en chef adjoint(e)s
Vincent GLAVIEUX (La Recherche) - 01.70.98.19.32
Andreina DE BEI (photo) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (digital) - 01.55.35.56.39
Directeur(trice)s artistiques
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (adjointe) - 01.55.35.56.21
Secrétaire générale de la rédaction
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18
Conseillère auprès de la direction de la rédaction
Rachel MULOT (cheffe de service enquêtes) - 01.55.35.56.07
Chef de service adjoint Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45
Chef(fe)s de rubrique
Mathias GERMAIN (biologie, médecine, santé) - 01.70.98.19.33
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54
Hugo JALINIÈRE (actualités, médecine) - 01.55.35.56.52
Rédaction Bernadette ARNAUD (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44 - Franck DANINOS (fondamental) - 01.55.35.56.78
Arnaud DEVILLARD (numérique) - 01.55.35.56.27 - Fabrice NICOT (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Collaborateurs(trices) Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN
Chroniqueurs Christophe CASSOU, Jean-Gabriel GANASCIA, Céline GUIVARCH, Claire MATHIEU
Ont participé à ce numéro Pierre BERLOQUIN, Dominique BOURGOIN, Nicolas GUTIERREZ C., Pierre KALDY, Léa FOURNASSON, François MALLORDY, Anouk TOMAS
Secrétaire de rédaction
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17
Maquette Horia BAHRI - 01.55.35.56.19
Photo-iconographie Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32
Claire BALLADUR - 01.70.98.19.41
Pôle digital Marine BENOIT (fondamental, archéologie) - 01.55.35.56.23 - Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70 - Camille GAUBERT (santé) - 01.55.35.56.24 - Joël IGNASSE (espace, paléontologie) - 01.55.35.56.15 - Coralie LEMKE (santé) - 01.55.35.56.56
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Clémence BAUDOIN - responsable projets digitaux
Jessica RIOS - cheffe de projet digital
Documentation Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49 - Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48
Courrier des lecteurs
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr
Informatique Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06
Directeur général Philippe MENAT
Responsable administrative et financière Jaye REIG - jreig@challenges.fr
Comptabilité - compta@challenges.fr
Responsable ressources humaines Sandrine MARTIN - smartin@challenges.fr
Fabrication Christophe PERRUSSON
Publicité MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com
Directrice générale Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70 - assistée de Marie-Noëlle MAGGI - 01.44.88.93.70
Directeur délégué Philippe LÉONARD - 01.44.88.89.18
Directeur de publicité Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75
Exécution : Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05
Administration des ventes Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20
Directeur commercial Valéry SOURIEAU
Directeur des abonnements Luc BONARDI
Responsable des abonnements Lina QUACH - 01.55.35.56.63
Sciences et Avenir SAS
Président, Directeur de la publication : Claude PERDRIEL
Secrétaire général Jean-Claude ROSSIGNOL
Multimédia Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. - Tél. : 0155355600

Origine du papier : Italie - Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Roto France (Lognes), certifié PEFC

Certifié PEFC
Ce produit est issu de forêts gérées durablement et de sources contrôlées.
PEFC 10-31-1557 pefc-france.org
FR
ACPM DIFFUSION

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comporte les encarts « Psychologies » et « télécâble » jetés sur couverture sur une partie de la diffusion abonnés ; ainsi que les encarts « Sophia Boutique-montre » et « L'homme Moderne » jetés sur couverture sur la totalité de la diffusion abonnés. Commission paritaire n° 0625 K 79712.
ISSN 00368636. Distribué par MLP.

Un conseiller face à vous, c'est toute une banque à vos côtés.

Conseillers, experts patrimoniaux, financiers ou immobiliers, gestionnaires de portefeuilles : quels que soient vos projets, nous mobilisons tous nos experts pour vous aider à les réaliser.

C'est sans doute cet engagement et cette implication qui nous ont permis d'être récompensés en 2020 pour la qualité de notre accompagnement dans la réalisation de vos projets*.

Rendez-vous sur hsbc.fr/expert

LES TROPHÉES DE LA BANQUE 2020

SATISFACTION CONSEILLER PROJET par meilleurebanque.com

HSBC

*Les Trophées de la qualité bancaire sont décernés par meilleurebanque.com (société du Groupe meilleurtaux.com). L'édition 2020 de cette étude a été réalisée online en association avec l'Institut Opinion Way, entre le 27 septembre et le 23 octobre 2019, sur un échantillon de 5035 Français bancarisés et représentatifs de la population française âgée de 18 ans et plus. HSBC Continental Europe - Société anonyme au capital de 491 155 980 euros - SIREN 775 670 284 RCS Paris. Siège social : 38 avenue Kléber 75116 Paris. Banque et intermédiaire en assurance immatriculé auprès de l'ORIAS (Organisme pour le Registre des Intermédiaires en Assurance - orias.fr) sous le n° 07 005 894. Crédit photo : Getty Images.

SOMMAIRE

Sciences et Avenir - La Recherche / N° 897 / Novembre 2021

DOSSIER P. 32

Tempêtes, canicules L'ère des extrêmes

Les chercheurs en apportent la preuve, certains événements météorologiques récents sont accentués par le changement climatique. Tempêtes, canicules et inondations vont se multiplier si des mesures concrètes ne sont pas prises.

P. 62

Le B.A.-BA du langage universel des animaux

Quelles stratégies adoptent les petits pour se faire reconnaître de leurs parents ou grappiller de la nourriture ? Un bioacousticien décrypte la communication animale.

P. 68

AVC : à l'assaut des caillots résistants

L'étude de ces responsables des accidents vasculaires cérébraux ouvre la voie à des traitements innovants. Reportage à Paris dans la plus grande banque de caillots d'Europe.

P. 82

L'énigmatique civilisation de l'Oxus

Des fouilles archéologiques dressent un premier portrait de cette civilisation de l'ère du bronze qui s'est éteinte, il y a 3500 ans, en Asie centrale, sans laisser de traces écrites.

5 **Éditorial** par Dominique Leglu

6 **Courrier**

7 **Édito** par Carole Chatelain

SCIENCES FONDAMENTALES

10 **ACTUALITÉS** Une supernova retrouvée 900 ans plus tard / Des ingrédients de la vie autour de jeunes étoiles / Perseverance révèle les vestiges d'un lac martien

50 **L'intelligence artificielle joue les artistes**

54 **L'énergie noire a peut-être été détectée**

58 **Prix Nobel : les lauréats 2021**

NATURE

16 **ACTUALITÉS** Première exploration du « puits de l'enfer » / À Fukushima, les serpents reflètent la radioactivité des sols / Un procédé plus écologique pour teindre les jeans

62 **Le B.A.-BA du langage universel des animaux**

66 **Halobate : comment cet insecte a conquis les océans**

SANTÉ

22 **ACTUALITÉS** La génétique, facteur clé de l'arthrose / Le retour d'Ebola lié à la précédente vague / Une dépression soignée par stimulation cérébrale profonde

68 **AVC : à l'assaut des caillots résistants**

74 **Les pouvoirs méconnus de l'appendice**

78 **Nutrition : les graines ne manquent pas de croquant**

HISTOIRE

28 **ACTUALITÉS** Ce trésor revisite l'histoire pré-viking / Un peuplement beaucoup plus précoce de l'Amérique / La génétique retrace les grandes migrations en Polynésie

82 **L'énigmatique civilisation de l'Oxus se dévoile**

90 **Entretien avec Khaled El-Enany,** ministre égyptien du Tourisme et des Antiquités

TRANSVERSALES

96 **Sélection livres**

100 **Expositions**

101 **Le ciel de novembre**

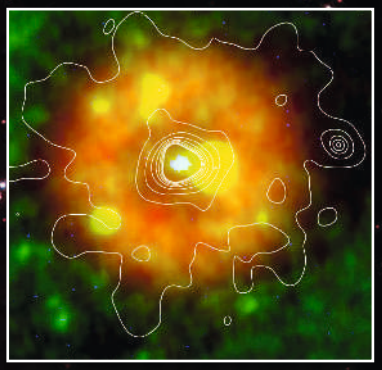
102 **Chroniques**
Climat par Céline Guivarch et Christophe Cassou / Mathématiques par Claire Mathieu / Éthique par Jean-Gabriel Ganascia / L'œil d'Olivier Lascar

104 **Questions de lecteurs**

105 **Solutions des jeux**

106 **Jeux**

LOIC VENANCE / AFP - ALAMY/ PHOTO12.COM - ZEPHYR/ SPL/ PHANIE - H. KOELBL/ASHGABAT NATIONAL MUSEUM OF HISTORY



C'est au centre de la nébuleuse Pa 30 (ci-dessus, vue en fausses couleurs) qu'a été retrouvé le cadavre de l'explosion d'une étoile (à gauche, vue d'artiste) observée au XII^e siècle.

Une supernova retrouvée 900 ans plus tard

Une équipe d'astronomes a pu observer les vestiges d'une supernova décrite dans des textes chinois et japonais du XII^e siècle.

Résoudre un *cold case* (affaire non résolue), en débusquant un phénomène astronomique rarissime : voici le joli coup double réalisé par une équipe internationale d'astronomes menée par Andreas Ritter et Quentin Parker, de l'université de Hongkong. L'énigme se nichait dans la constellation de Cassiopée, sous le nom de SN 1181, une supernova décrite dans des textes chinois et japonais entre 1181 et 1182. Six mois durant, SN 1181 a brillé autant que la planète Saturne, avant de disparaître. Les observateurs assistaient en réalité à la destruction d'une étoile massive en fin de vie, l'un des événements les plus énergétiques de l'Univers. Mais aucune trace de la formidable explosion n'avait été de nouveau repérée jusqu'ici. Or, une supernova laisse un rémanent : une nébuleuse de gaz vestige de l'étoile. Ceux des supernovæ de 1006, 1054, 1572 et 1604 ont tous été retrouvés. C'est désormais chose faite avec SN 1181.

Une découverte qui ouvre une autre piste

C'est la découverte en 2013 de Pa30, une nébuleuse en pleine expansion située dans les parages de SN 1181, qui met les astronomes sur la piste. Mais il faut aussi vérifier que sa formation est contemporaine de la supernova. Ce qu'ils ont fait en étudiant la dynamique de la nébuleuse, dont les résultats viennent de paraître dans *The Astrophysical Journal Letters*. *« Nos données montrent que le gaz s'étend à très grande vitesse : 1100 km/s,* détaille Quentin Parker. *Cela correspond à une explosion ayant eu lieu il y a environ 1000 ans, ce qui est compatible avec la supernova SN 1181.* » Mieux encore : la nébuleuse mène les astronomes vers le cadavre encore chaud de la supernova : 200 000 °C, un record ! Il s'agit d'une étoile de type Wolf-Rayet, qui se trouve au cœur de Pa30.

En 2019, une publication avait émis l'hypothèse que l'étoile et la nébuleuse seraient issues de la collision de deux naines blanches, elles-mêmes des cadavres d'étoiles. Ce cataclysme constitue une supernova de type Iax, rarissime. Est-ce le cas pour SN 1181 ? *« Pris ensemble, l'âge, la localisation, la luminosité décrite à l'époque et la durée de six mois montrent que l'étoile et la nébuleuse Pa30 sont les conséquences de SN1181* », affirme Andreas Ritter. Les astronomes ont ainsi la possibilité d'étudier, une supernova de type Iax, grâce à une collaboration menée à neuf siècles d'écart ! ■ **Fabrice Nicot**

@fnicot07

RITTER ET AL. - HUBBLESITE

30 700 tonnes

La masse annuelle des déchets informatiques liés au bitcoin

ÉLECTRONIQUE Avec une durée de vie d'un an et quatre mois environ, les ordinateurs qui fonctionnent 24h/24 pour le traitement des transactions de la cryptomonnaie génèrent annuellement 30 700 tonnes de déchets électroniques, soit plus d'un an de rebut d'un pays comme les Pays-Bas. **A. D.**

SOURCE : ALEX DE VRIES, BANQUE CENTRALE DES PAYS-BAS.

Le pneu increvable roule enfin

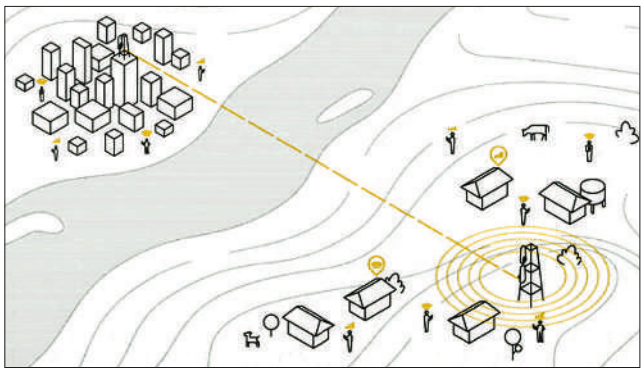
MICHELIN

La structure du pneu se déforme, mais sans risquer une perforation.

MATÉRIAU Le pneu sans air, et donc increvable, a fait l'objet d'une première démonstration au salon de l'automobile de Munich (Allemagne) en septembre. La structure porteuse est faite d'un matériau composite verre-résine qui se déforme au passage d'une irrégularité, mais sans risquer la perforation. De quoi s'attaquer peut-être à la pollution engendrée par les 200 millions de pneus crevés chaque année dans le monde. **M. N.**

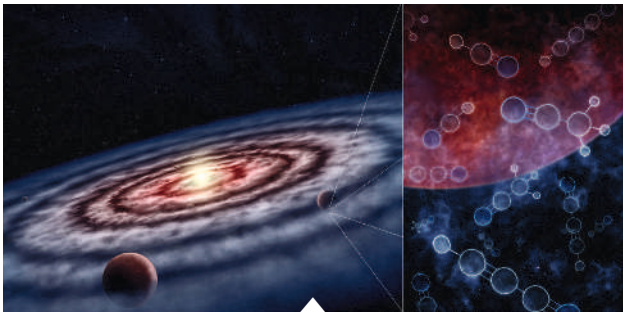
Internet par laser au-dessus du fleuve Congo

INFORMATIQUE Mené par Alphabet, maison mère de Google, le projet Taara a permis la transmission, sur 7,72 km en ligne droite entre Kinshasa (République démocratique du Congo) et Brazzaville (Congo), de 700 térabits de données en vingt jours, par le biais d'émetteurs-récepteurs laser de 5 cm de large, placés en haut de mâts. Le procédé évite les travaux d'installation de câbles de fibre optique mais nécessite un espace dégagé **A. D.**



X COMPANY

La liaison optique sans fil a une portée de 20 km hors brouillard ou brume.



M.WEISS/CENTER FOR ASTROPHYSICS | HARVARD & SMITHSONIAN

Ces disques recèleraient du carbone, de l'azote ou de l'hydrogène.

Les ingrédients de la vie autour de jeunes étoiles

Les scientifiques espèrent découvrir une exoplanète en devenir.

De grandes quantités de molécules organiques ont été dénichées autour d'étoiles. Plus précisément, au sein de leur disque protoplanétaire, ces nuages de gaz et de poussières qui les entourent et dans lesquels se forment les planètes. Cette découverte du projet Maps (Molécules avec Alma aux échelles de planètes en formation) est détaillée dans une vingtaine d'études publiées par l'Astrophysical Journal Supplement Series. En scrutant l'environnement de cinq jeunes étoiles grâce au radiotélescope Alma, les scientifiques ont identifié, puis cartographié la répartition de nombreuses molécules organiques, composées de carbone (C), d'hydrogène (H) et d'oxygène (O) ou d'azote, cruciales pour une apparition potentielle de la vie. La poursuite des observations de ces molécules va désormais s'accompagner d'un suivi de la vitesse des gaz et poussières qui circulent dans le disque, afin d'y déceler, ou non, une exoplanète en devenir. **L. F.**

LE MOT DU MOIS

Hycéenne

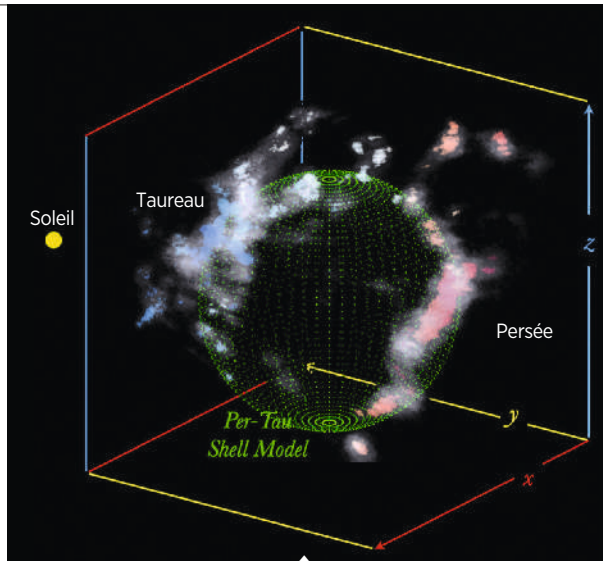
PLANÉTOLOGIE C'est ainsi qu'il faut qualifier la nouvelle catégorie de planètes habitables dont une équipe d'astrophysiciens vient de dresser le portrait-robot. Les planètes hycéennes (contraction en anglais de *hydrogen et ocean*), sont plus grandes que la Terre, recouvertes d'un immense océan et entourées par une épaisse atmosphère riche en hydrogène. La détection de molécules émises par des organismes y serait aussi plus aisée que sur les planètes jumelles de la Terre selon les scientifiques. F. N.

SOURCE : N. MADHUSUDHAN, UNIVERSITÉ DE CAMBRIDGE, ROYAUME-UNI.

Une planète en orbite autour de trois étoiles

ASTRONOMIE La première exoplanète identifiée tournant autour de trois « soleils » à la fois vient probablement d'être découverte par des astrophysiciens français. Au cœur de la constellation d'Orion, à 1300 milliards d'années-lumière, une géante gazeuse de type Jupiter orbiterait dans le système stellaire GW Orionis, dont la particularité est d'avoir trois étoiles proches les unes des autres. **L. F.**

SOURCE : CHRISTOPHE PINTE, UNIVERSITÉ DE GRENOBLE, FRANCE.



Modélisation en 3D de la cavité, entourée de deux nuages moléculaires.

S. BIALY ET AL.

La Voie lactée cache une immense « bulle de vide »

ASTROPHYSIQUE Des chercheurs ont découvert une cavité très pauvre en gaz de 500 années-lumière de diamètre dans notre galaxie. Elle serait due à l'explosion d'une ou plusieurs supernovæ qui auraient repoussé le gaz dans lequel elles baignaient… À la lisière de cette bulle, se trouvent les nuages moléculaires de Persée et du Taureau, deux pouponnières d'étoiles sans doute issues de ces cataclysmes. **F. N.**

SOURCE : SHMUEL BIALY, CENTRE POUR L'ASTROPHYSIQUE DE HARVARD, ÉTATS-UNIS.

EN DEUX MOTS

ISS. L'astronaute Thomas Pesquet a été nommé, le 4 octobre, commandant de la Station spatiale internationale, une première pour un Français. **ASTROAGRICULTURE.** Du trèfle poussant sur un sol martien reconstitué a augmenté sa croissance de 75 % grâce à l'inoculation d'une bactérie symbiotique. **TOURISME.** Le 15 septembre, la capsule Crew Dragon de SpaceX a permis à quatre Américains inexpérimentés de passer trois jours en orbite, marquant une nouvelle étape pour le tourisme spatial.

SIPA

Les trois taïkonautes à leur retour sur Terre le 17 septembre, après 3 mois passés dans l'espace.

Les premiers occupants de la station chinoise sont revenus

ESPACE Trois taïkonautes — des astronautes chinois — sont revenus sur Terre le 17 septembre, après une mission inédite de trois mois à bord de la nouvelle station spatiale chinoise Tiangong (Palais céleste). Celle-ci n'est encore constituée que du module central, lancé en avril. Ses premiers occupants, Nie Haisheng, Liu Boming et Tang Hongbo, ont effectué des sorties dans l'espace et installé du matériel. **S. R.**

Perseverance révèle les vestiges d'un lac martien

Le cratère Jezero, où s'est posé le rover de la Nasa, a abrité un lac alimenté par le delta d'une rivière il y a 3,6 milliards d'années.

Situé au nord de l'équateur de la planète Rouge, le cratère Jezero a bien abrité un immense lac. Fourni par le rover Perseverance de la Nasa, ce résultat confirme l'intérêt de ce site pour mieux comprendre l'histoire de la planète. Il a été obtenu en analysant les photographies prises par l'instrument Supercam du rover, construit en partie en France, à 2 km de ces formations géologiques.

Les images dévoilent un ensemble de strates sédimentaires inclinées et horizontales. Cette architecture typique des lacs et deltas terrestres permet d'estimer aussi les quantités d'eau liquide selon l'étude publiée dans la revue *Science* et dirigée par Nicolas Mangold, du Laboratoire de planétologie et géodynamique de Nantes. Elles s'étendaient il y a 3,6 milliards d'années sur tout le fond du cratère Jezero, soit environ 35 km de diamètre, et plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Le niveau des eaux devait fluctuer sur les berges, endroits privilégiés pour y rechercher d'éventuelles traces de vie. **F. D.**

NASA/JPL-CALTECH

L'eau s'étendait sur 35 km de diamètre sur tout le fond du cratère (vue d'artiste).

iPhone 13 Pro avec 5G.
Sérieusement pro.
À prix sérieusement séduisant.

iPhone 13 Pro
128 Go
1€*

Avec un forfait 200 Go 5G et offre de reprise.

4G / 5G

DAS tête : 0,99 W/kg
DAS tronc : 0,98 W/kg
DAS membres : 2,97 W/kg

iPhone 13 Pro

***Soit 599 € avec un forfait mobile 200 Go 5G avec engagement 24 mois – 50 € de remise immédiate – 548 € d'offre de reprise(1).**

5G : accessible en France métropolitaine avec offre et équipement compatibles, uniquement dans les zones déployées (611 communes couvertes au 01/09/2021). Débit maximum théorique de connexion en réception jusqu'à 2,1 Gbits/s dans les zones couvertes en 3,5 GHz avec agrégation des quatre bandes de fréquences 4G et jusqu'à 615 Mbits/s pour les zones couvertes en 2,1 GHz utilisée pour la 4G. Couverture 5G détaillée et différenciée selon les fréquences utilisées sur reseaux.orange.fr

Offre disponible en boutique et sur orange.fr

Kit mains-libres recommandé. Offre soumise à conditions, valable en France métropolitaine jusqu'au 17/11/2021 avec le forfait mobile 200 Go 5G à 64,99 €/mois (prix hors promotions) avec engagement 24 mois, réservée aux particuliers, propriétaires de mobiles éligibles.

(1) Pour la reprise d'un mobile **d'une valeur minimum de 548 €** après diagnostic. Remise et conditions en boutique Orange.

orange™

ISHIYAMA ET AL.

À VOIR SUR LE NET

La simulation de l'Univers la plus réaliste

COSMOLOGIE Grâce à l'un des supercalculateurs les plus puissants au monde (Aterui II, au Japon), une équipe a réalisé une simulation dénommée Uchuu (« univers » en japonais), qui reproduit la « toile cosmique » dans un cube mesurant 6,5 milliards d'années-lumière de côté. **F. D.**

SOURCE : I. TOMOAKI, UNIVERSITÉ DE CHIBA, JAPON.

Pour voir la vidéo, scannez ce QR code

Le plus long pont de béton imprimé en 3D

Situé à Nimègue, aux Pays-Bas, cet ouvrage a été imprimé en une trentaine de parties assemblées sur place.

MUNICIPALITY OF NIJMEGEN

L'ouvrage de 29 mètres est le fruit d'une collaboration entre un designer néerlandais et l'université de technologie d'Eindhoven.

La passerelle pour cyclistes inaugurée le 8 septembre dans un parc de Nimègue, aux Pays-Bas, est une performance. Avec ses 29 mètres de long, c'est le plus grand pont en béton du monde construit par impression 3D. Il est l'œuvre du designer Michiel van der Kley, en collaboration avec l'université de technologie d'Eindhoven.

Ce projet entre dans le cadre d'une politique de l'autorité chargée des infrastructures, la Rijkswaterstaat, consistant à construire des ponts en matériaux bruts, réutilisables et sans rebuts. C'est justement le principe de l'impression 3D : on ne retire pas de matière, on en ajoute au fur et à mesure. Le pont a été imprimé en une trentaine de parties séparées et le béton appliqué en couches successives dans une usine d'impression 3D de béton ouverte par Saint-Gobain Weber Beamix et BAM à Eindhoven, en avril 2019. Une fois le pont assemblé avec des câbles en acier, il a subi une série de tests de résistance concluants. D'ores et déjà, plusieurs autres sont envisagés aux Pays-Bas. **A. D.**

Du sang et des larmes pour habiter sur Mars

ESPACE Pour fabriquer des habitations sur Mars, mélanger les poussières martiennes à une protéine du plasma sanguin produit l'Astrocrete, un torchis qui possède une résistance de 25 mégapascals (MPa), semblable à du béton. En ajoutant des molécules d'urée présentes dans l'urine, la sueur et les larmes elle pourrait être portée à 40 MPa. **F. D.**

SOURCE : A. ROBERTS, UNIVERSITÉ DE MANCHESTER, ROYAUME-UNI.

UNIVERSITY OF MANCHESTER

Un mélange poussières-albumine dur comme du béton.

1000 tonnes — Le poids de l'aimant le plus puissant du monde

NUCLÉAIRE La première pièce d'un gigantesque aimant, prévu pour être le plus puissant au monde, est arrivée sur le site du réacteur thermonucléaire expérimental international (Iter), à Saint-Paul-lez-Durance (Bouches-du-Rhône). Une fois assemblé d'ici à 2024, il sera placé au cœur du réacteur à fusion, le tokamak : une immense chambre magnétique où la température pourra atteindre 150 millions de degrés. **H. J.**

SOS étoile en détresse

ASTRONOMIE La source de rayons X « J2150 », surveillée depuis 2006, est un trou noir de la catégorie très recherchée des « intermédiaires ». Tournant sur lui-même à 80 % de la vitesse de la lumière, il aurait une masse de 10 000 fois celle du Soleil selon une récente estimation. L'émission de rayons X vient du fait qu'il est en train de disloquer une étoile qui passait dans les parages. **F. N.**

SOURCE : SIXIANG WEN, UNIVERSITÉ D'ARIZONA, ÉTATS-UNIS.

NASA/JPL-CALTECH

Dislocation d'une étoile alors qu'elle est dévorée par un trou noir (illustration).

HAVAS PARIS – RATP RCS Paris B 775 663 438.

Qui est à Paris, Londres, Saint-Malo et au Caire en même temps ?

Avec 8 modes de transports opérés dans 13 pays, le groupe RATP est le troisième opérateur mondial de mobilité urbaine. De Florence à Quimper en passant par Riyad, nous développons des solutions de mobilités partagées et contribuons à inventer le futur des villes, plus innovantes et durables. C'est tout le sens de l'Exposition universelle de Dubai et de son Pavillon France dont nous sommes fiers d'être partenaire.
Partout dans le monde, le groupe RATP s'engage pour une meilleure qualité de ville.

ratpgroup.com

FRANCE
EXPO 2020 DUBAI

GROUPE RATP
La ville a de l'avenir

Première exploration du « puits de l'enfer »

Des spéléologues sont descendus dans cette fosse gigantesque au Yémen qui serait due à la dissolution du calcaire par les nappes phréatiques et les écoulements d'eaux de ruissellement chargées de sels.

AFP

D'une profondeur de 112 m, la cavité abrite des grenouilles, serpents, coléoptères et des cadavres d'animaux.

Fin du mystère pour le puits de Barhout, surnommé « puits de l'enfer », une cavité souterraine qui s'ouvre par un trou rond et sombre de 30 m de diamètre dans le désert d'Al-Mahra, à l'est du Yémen. Une équipe de spéléologues omanais en a finalement fait l'entière exploration cet été, découvrant une grotte de 112 m de profondeur et 116 m de large au sol. Des cascades d'eau sourdent de ses parois, tandis que des perles de caverne grises et vertes et des stalagmites en couvrent le fond. En 2020, les autorités géologiques yéménites s'y étaient déjà aventurées jusqu'à une cinquantaine de mètres de profondeur seulement, et avaient rebroussé chemin après avoir remarqué *« des choses étranges »*…

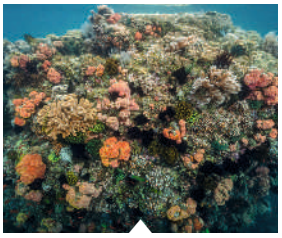
Le lieu avait en effet une image sulfureuse auprès des autochtones, puisqu'il était réputé abriter des génies maléfiques. Un imaginaire renforcé par des odeurs fétides qui s'échapperaient du gouffre. Les chercheurs omanais n'y ont finalement trouvé que des grenouilles, des serpents et des coléoptères, ainsi que des cadavres d'animaux qui pourraient expliquer les relents rapportés par la population.

Plus de 100 grottes similaires dans la région

Ce type de formation se retrouve ailleurs dans la région, notamment à Oman. Ces fosses gigantesques sont dues à la dissolution du calcaire par les nappes phréatiques et les écoulements d'eaux de ruissellement chargées de sels, un phénomène continu sur des millions d'années. L'équipe de spéléologues, menée par le géologue omanais Mohammed Al Kindi, a ainsi recensé et cartographié en 3D plus de 100 grottes similaires dans le sultanat d'Oman voisin. Les échantillons d'eau et de sol prélevés dans le puits de Barhout, en cours d'analyse, devraient permettre d'évaluer son âge et de reconstituer son histoire. ■ **S. R.**

Des supercoraux résistants au CO_2

OCÉANOGRAPHIE Lors d'une mission réalisée aux Philippines, une expédition scientifique a identifié avec surprise une région de « supercoraux » qui prospèrent dans le passage de l'île Verde, malgré des niveaux élevés de dioxyde de carbone dans l'eau. Le CO_2 introduit dans le milieu marin par les aquifères équivaut aux émissions moyennes annuelles de deux voitures par hectare de récif. Cette découverte offre l'espoir de reconstituer des récifs coralliens plus résistants en réimplantant l'espèce ailleurs. **S. R.**



BAYANI CARDENAS, UNIVERSITY OF TEXAS

Récif de coraux près de l'île Verde (Philippines).

ELLE A DIT

« Grâce aux nouvelles technologies, il coûte désormais moins cher de réduire les émissions des véhicules que de faire repeindre une voiture »

Anna Krajinska, ingénieure émissions pour l'organisation Transport and Environment qui publie un rapport sur la résistance de l'industrie automobile à réduire ses émissions de gaz.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Venez découvrir le nouvel Appel
à Manifestation d'Intérêt ZAN de l'ADEME :

Vers des territoires « Zéro Artificialisation Nette »

ZÉRO
ARTIFICIALISATION
NETTE

Pour **en savoir plus**

Et poser vos question :
ami.zan@ademe.fr

LE MOT DU MOIS

Kleptopharmacophagie

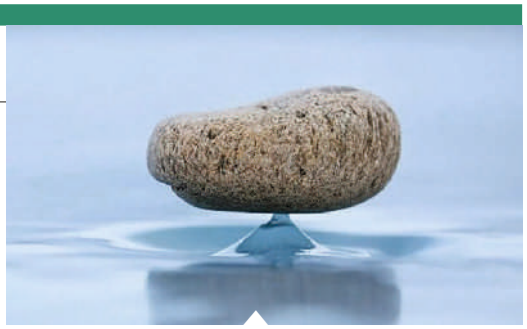
ENTOMOLOGIE Cet étrange mot désigne un comportement inédit observé chez des papillons de la famille *Danainae* : en Indonésie, des mâles ont été surpris en train de se nourrir de chenilles de leur propre espèce ! Ce cannibalisme aurait pour but l'absorption de composés chimiques stockés par les larves, utiles aux mâles pour la séduction de femelles. **A. T.**

SOURCE : YI-KAI TEA, UNIVERSITÉ DE SYDNEY, AUSTRALIE

4807,81 mètres

La nouvelle altitude du mont-Blanc

GÉOMORPHOLOGIE Le point culminant d'Europe n'a jamais été aussi bas ces 100 dernières années selon les derniers relevés officiels effectués par les géomètres-experts de Haute-Savoie. L'altitude variait entre 4808 et 4810 mètres ces vingt dernières années et oscille continuellement en fonction des vents et des précipitations. Sous les neiges éternelles, le sommet rocheux culmine, lui, à 4792 m. **H. J.**



OLGA ZIMA

Le galet est maintenu au-dessus de la surface gelée par un fin pic de glace.

Le mystère des « zen stones » élucidé

GÉOGENÈSE Sur certains lacs gelés, des galets lévitent au-dessus de la surface, soutenus par un fin socle de glace au centre. Des chercheurs ont enfin expliqué ce phénomène : la formation des « zen stones » (pierres zen) ne résulte pas de la fonte de la glace sous le caillou, qui laisserait l'eau stagner et regeler la nuit, mais par la sublimation de celle-ci, soit le passage direct de l'état solide à l'état gazeux. Un phénomène permis par une pression en vapeur d'eau très faible. **L. F.**

SOURCE : NICOLAS TABERLET, CNRS, FRANCE.

Des serpents détecteurs de radioactivité à Fukushima

Neuf reptiles équipés d'une puce GPS ont été lachés à proximité de la centrale japonaise. Les concentrations de radiocésium ingérées reflètent les niveaux de rayonnement.

HANNAH GERKE

Les serpents ratiers du Japon, comme tous les reptiles, ont des parcours limités (de 30 à 116 mètres par jour), ce qui en fait de bons indicateurs de contamination.

Pour évaluer les niveaux de radioactivité des sols dans la zone d'exclusion de Fukushima (Japon), évacuée après l'accident nucléaire de 2011, des chercheurs de l'université de Géorgie (États-Unis) ont fait appel à… des reptiles ! Neuf serpents ratiers du Japon (Elaphe climacophora) équipés d'une puce GPS et d'un petit émetteur VHF (very high frequency) ont été lâchés sur les hauts plateaux d'Abukuma à 25 kilomètres de la centrale de Fukushima avant d'être recapturés pour analyser les données. Si les scientifiques ont opté pour des serpents, c'est qu'ils passent beaucoup de temps au sol, et que leurs déplacements sont restreints (à peine 30 à 116 mètres par jour pour les reptiles suivis). *« Les concentrations de radiocésium ingérées et accumulées par chaque serpent reflètent les niveaux de rayonnement de leur lieu de capture »*, explique Hannah Gerke, coauteure de l'étude publiée dans Ichthyology & Herpetology. Une preuve que les serpents constituent de bons indicateurs de contamination environnementale pour des sites précis. **A. T.**

BIOSPHOTO

Des atomes de zinc maximisent la dureté des dents des fourmis.

Pourquoi les dents des fourmis sont si tranchantes

MYRMÉCOLOGIE Sur leurs mandibules, les fourmis disposent de dents microscopiques. Des physiciens montrent comment des atomes de zinc sont disposés dans la pointe des dents pour maximiser l'efficacité de la coupe et maintenir le tranchant dans le temps. Une dureté synonyme d'économie d'énergie pour couper les aliments. **H. R.**

SOURCE : R SCHOFIELD, UNIVERSITÉ DE L'OREGON, ÉTATS-UNIS.

RIVAGES
DU MONDE

Prendre le large, c'est essentiel.

RCS Paris B 438 679 664 – 150 000 euros - Atout France IM 075 100 099 – Crédit Dreamstime

Croisières

EXPÉDITIONS

NORVÈGE • ARCTIQUE • ISLANDE • GROENLAND • SPITZBERG

A bord d'un véritable yacht d'expédition, conçu pour 180 passagers.
Un navire à propulsion hybride, pouvant stationner sans jeter l'ancre, pour une meilleure protection des sanctuaires marins. Des conférenciers spécialistes des régions polaires présents à bord.

SA01

Voguer. Échanger. Rêver

RÉSERVEZ VOTRE CROISIÈRE AU 01 83 96 85 03 OU SUR WWW.RIVAGESDUMONDE.FR

BIOSPHOTO

L'oisillon apprend « in ovo » le chant en entendant les vocalises de ses congénères.

Les oiseaux sensibilisés au chant dans l'œuf

ORNITHOLOGIE Les oisillons commencent à apprendre le chant de leur espèce *in ovo*, bien avant d'éclore, selon les expériences de chercheurs australiens. Ces derniers ont observé, chez cinq espèces, que le rythme cardiaque des embryons ralentit quand il entend le chant d'un congénère, puis reprend sa fréquence normale si ce signal est répété, signe que l'oiseau perçoit puis reconnaît le chant extérieur : *« une forme d'apprentissage »* selon les chercheurs. **P. K.**

SOURCE : DIANE COLOMBELLI-NEGREL, UNIVERSITÉ FLINDERS, AUSTRALIE.

Un procédé plus écologique pour teindre les jeans

Grâce à des nanofibres, une seule opération de teinture suffit à fixer l'indigo contre huit habituellement, ce qui divise la consommation d'eau par 25.

Mis au point par des chimistes de l'université de Géorgie (États-Unis), le procédé pourrait révolutionner l'industrie du jean en la rendant beaucoup plus écologique. Chaque année, celle-ci consomme, en effet, 45 000 tonnes d'indigo synthétique (pigment de couleur bleue), 84 000 tonnes d'hydrosulfite de sodium (agent réducteur permettant de solubiliser l'indigo) et 53 000 tonnes de lessive. Entre 50 et 100 litres d'eau sont par ailleurs nécessaires pour colorer un seul pantalon. La technologie alternative utilise de l'indigo naturel (ou des pigments de synthèse) mélangé à des nanofibres de cellulose et du chitosan, polysaccharide issu des déchets de crustacés ou des champignons. Tandis que les nanofibres encapsulent les molécules d'indigo, le chitosan facilite leur adhérence à la surface des tissus. Grâce à cet hydrogel, une seule opération de teinture suffit à fixer l'indigo, contre huit habituellement. La consommation d'eau est ainsi divisée par 25, sans recourir au moindre agent réducteur. **F. D.**

SOURCE : SMRITI RAI, UNIVERSITÉ DE GÉORGIE, ÉTATS-UNIS.

PLAINPICTURE

L'indigo est encapsulé dans des nanofibres et un hydrogel facilite son adhérence.

EN DEUX MOTS

BRACONNAGE. Les autorités colombiennes ont réalisé une saisie record de 3000 ailerons de requin qui devaient être expédiés illégalement vers Hongkong. **AVIATION.** La première usine au monde à produire, à l'échelle industrielle, du kérosène neutre en carbone issu de l'hydrogène et de la capture de CO_2 a été inaugurée en Allemagne. **BOTANIQUE.** 800 dattes ont été récoltées sur le palmier-dattier de Judée, espèce disparue puis « ressuscitée » en Israël par la botaniste Sarah Sallon à partir de graines vieilles de 2000 ans.

Des vaches apprennent à aller aux toilettes

ENVIRONNEMENT Des scientifiques allemands et néo-zélandais ont réussi à dresser 16 veaux pour qu'ils urinent au « petit coin ». Très sérieuse, leur étude démontre qu'il est possible de récupérer une partie de ces urines et réduire ainsi les émissions de gaz à effet de serre (GES). Au fil du temps, l'azote contenu dans l'urée des bovins se décompose en effet en oxyde nitreux, qui représente près de 10 % des émissions de GES en Nouvelle-Zélande, où plus de la moitié est liée au bétail. **H. J.**

SOURCE : NEELE DIRKSEN, INSTITUT LEIBNIZ DE BIOLOGIE DES ANIMAUX DE FERME, ALLEMAGNE.

AFP

Récupérer l'urine des bovins limite l'émission de gaz à effet de serre.

Ouverture de la pêche à l'ADN dans les fleuves

BIODIVERSITÉ Cribler à l'ADN environnemental (ADNe) les eaux des 30 plus grands fleuves du monde, c'est l'objet du programme international Vigilife. Cette technique permet d'extraire l'ADN de toutes les espèces aquatiques présentes à partir d'échantillons d'eau ; et donc de détecter la présence d'animaux difficiles à observer. Testée dans le Rhône, l'ADNe a déjà fait la preuve de son efficacité. **L. C.**

MENTIONS LÉGALES : Bouygues Telecom – Société anonyme au capital de : 819 698 624,70 € – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS.

S'ENGAGER AVEC LES ASSOCIATIONS

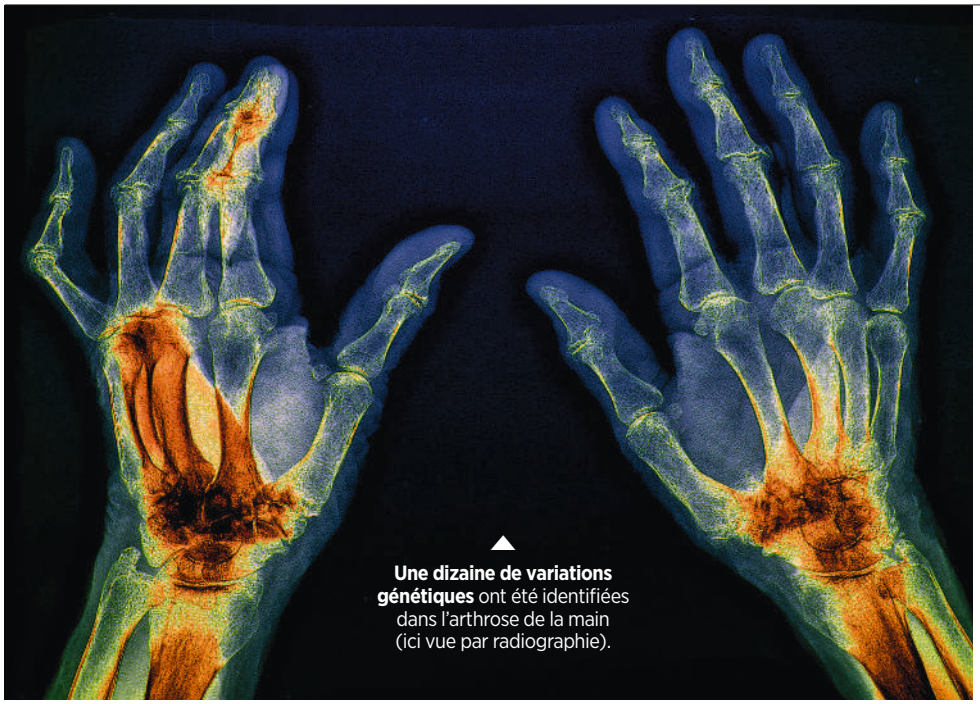
Parce qu'elles tissent les liens dont nous avons tous besoin, chez Bouygues Telecom nous avons décidé de nous engager avec les associations en créant une offre internet dédiée et une plateforme de bénévolat accessible à tous.

Découvrez l'ensemble de nos engagements sur **bouyguestelecom.fr/associations**

on est fait pour être ensemble

bouygues TELECOM

Offre Bbox Asso réservée aux associations et soumise à conditions. Voir modalités et conditions d'éligibilité de l'offre ainsi que conditions d'utilisation de la plateforme de bénévolat sur bouyguestelecom.fr



PHANIE

Une dizaine de variations génétiques ont été identifiées dans l'arthrose de la main (ici vue par radiographie).

La génétique, facteur clé de l'arthrose

Un consortium international de scientifiques a identifié une centaine de variations à risque, dont certaines spécifiques aux femmes.

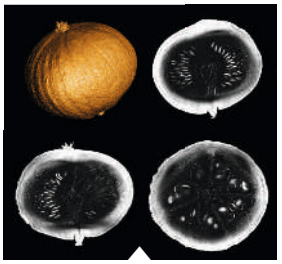
Aux origines de l'arthrose, une maladie qui détruit le cartilage des articulations et concerne 500 millions de personnes dans le monde, il y a des facteurs de risque comme l'âge, l'obésité, le diabète… mais aussi des déterminants génétiques. C'est ce que montre la plus grande étude réalisée sur la maladie et publiée dans la revue *Cell* à partir des données génomiques de plus de 825 000 personnes. *« Nous avons identifié une centaine de variations génétiques différentes, dont 52 n'avaient pas été liées à la maladie auparavant »*, déclare Eleftheria Zeggini, directrice de l'Institut de génomique translationnelle du centre Helmholtz de Munich (Allemagne), qui a dirigé ces travaux. Parmi elles, 77 sont suspectées d'avoir un lien de causalité direct avec cette maladie. L'étude dévoile des différences dans le risque selon les articulations portantes (genou, hanche…) et non portantes (main, coude…), mais aussi les premières variations spécifiques aux femmes.

Des gènes déjà ciblés par des médicaments

Par exemple, un facteur génétique impliqué dans l'insuffisance ovarienne précoce se retrouve chez les femmes souffrant d'arthrose de la hanche. *« C'est un très beau travail qui identifie des facteurs génétiques spécifiques à chaque articulation »*, commente Martine Cohen-Solal, chercheuse à l'hôpital Lariboisière, à Paris, qui n'a pas participé à l'étude. *« Cela suggère qu'il n'existe pas une maladie mais plusieurs, avec à chaque fois des dizaines de facteurs génétiques associés,* ajoute Francis Berenbaum, rhumatologue à l'hôpital Saint-Antoine, à Paris. *De plus, ces résultats ouvrent de nouvelles pistes de recherche de traitements.* » Celles-ci pourront être vite explorées car, parmi la liste des 77 mutations, une vingtaine se situe sur des gènes qui sont déjà la cible de médicaments sur le marché ou en développement clinique. **M. G.**

Première image de l'IRM géant

IMAGERIE Installé à NeuroSpin au CEA (Saclay, Essonne), le dispositif d'imagerie par résonance magnétique (IRM) Iseult, le plus puissant au monde, vient de délivrer ses premières images, avec un sujet d'étude plutôt insolite pour cette fois : un potimarron. Passés ces premiers tests, il devrait permettre des avancées importantes pour les sciences cognitives et la connaissance des pathologies cérébrales. **H. J.**



CEA

Un potimarron a été utilisé pour le premier test de la machine.

L'OMS recommande le premier vaccin contre le paludisme

PROPHYLAXIE

L'Organisation mondiale de la santé a donné son feu vert au déploiement massif du premier vaccin contre le paludisme en Afrique, saluant un *« fait historique »*. Le vaccin ne permettra pas d'éradiquer le « palu », mais pourrait s'avérer une arme décisive contre cette maladie, transmise par des moustiques, à l'origine de plus de 400 000 morts par an. **H. J.**

BETC Bouygues Telecom – Société anonyme au capital de : 819 698 624,70 € – Siège social : 37-39, rue Boissière – 75116 PARIS – 397 480 930 RCS PARIS.

Bouygues Telecom crée une plateforme qui rapproche les associations et les bénévoles.

S'ENGAGER AVEC LES ASSOCIATIONS

Parce que les associations ont besoin de vous et que vous êtes nombreux à vouloir aider pour quelques heures ou plus, découvrez la mission qui vous convient sur notre plateforme de bénévolat, et ce, où que vous soyez en France.

Découvrez l'ensemble de nos engagements sur **bouyguestelecom.fr/associations**

on est fait pour être ensemble

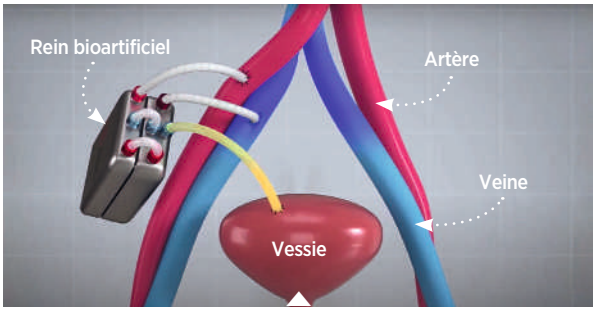
bouygues TELECOM

Conditions d'utilisation de la plateforme de bénévolat accessibles sur bouyguestelecom.fr

Le rein bioartificiel arrive

NÉPHROLOGIE Un prototype fonctionnel de rein bioartificiel implantable a fait l'objet d'une première démonstration préclinique. Destiné à pallier le manque de greffons pour les patients en grave insuffisance rénale, il filtre les toxines du sang de façon autonome grâce à un bioréacteur activé par la pression sanguine et des cellules rénales programmées en laboratoire et encapsulées. **H. J.**

SOURCE : UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SAN FRANCISCO, ÉTATS-UNIS



UCSF

Greffé sur la circulation sanguine, le dispositif filtre le sang à la place du rein et transfère l'urine produite à la vessie.

Une marque épigénétique caractérise les vrais jumeaux

HÉRÉDITÉ Les jumeaux, monozygotes issus d'une cellule œuf initiale qui s'est scindée en deux, portent des modifications caractéristiques sur leur ADN. Celles-ci concernent des gènes variés dont certains impliqués dans l'adhérence cellulaire. Une analyse épigénétique de l'expression des gènes d'une personne donc permet désormais de savoir si elle a un jumeau, précisent les scientifiques. **P. K.**

SOURCE : JENNY VAN DONGEN, UNIVERSITÉ LIBRE D'AMSTERDAM, PAYS-BAS.

PLAINPICTURE

L'irisine, sécrétée à l'effort, renforce les capacités cognitives.

Une hormone musculaire dope le cerveau

COGNITION L'exercice physique prolongé dope les capacités cognitives sous l'effet de l'irisine, une hormone sécrétée par les muscles et capable de stimuler la production de neurones dans l'hippocampe, du moins chez la souris. L'irisine peut passer dans le cerveau et améliorer même les fonctions cognitives ayant une forme génétique de la maladie d'Alzheimer, ce qui offre une nouvelle piste thérapeutique chez l'humain qui sécrète aussi cette hormone. **P. K.**

SOURCE : M. ISLAM, HARVARD MEDICAL SCHOOL, ÉTATS-UNIS.

EN DEUX MOTS

NAISSANCE. Un dépistage systématique de la dépression post-partum autour de la cinquième semaine après l'accouchement sera instauré début 2022 en France. **PANDÉMIE.** Le Covid-19 a entraîné des pertes d'espérance de vie jamais vues depuis la Seconde Guerre mondiale en Europe occidentale, allant jusqu'à 2 années, selon une étude du centre des sciences démographiques d'Oxford (Royaume-Uni). **DIABÈTE.** Le dispositif de « pancréas artificiel » Diabeloop vient d'obtenir son remboursement par la Sécurité sociale.

Le retour d'Ebola lié à la précédente vague

La souche responsable de la résurgence de l'épidémie en Guinée n'a quasiment pas muté depuis 2016.

VIROLOGIE La résurgence de virus Ebola qu'a connue la Guinée en février (23 cas pour 12 décès) s'inscrirait dans la continuité de l'épidémie qui a frappé l'Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2016, la plus meurtrière de l'histoire. C'est la conclusion des chercheurs du laboratoire du Projet des fièvres hémorragiques de Guinée et du TransVIHMI de l'université de Montpellier après avoir analysé les génomes viraux provenant de 12 patients de la flambée de 2021. En effet, ces échantillons présentent des liens phylogénétiques étroits avec ceux prélevés en 2013-2016. Autrement dit, la souche responsable de la résurgence est non seulement la même, mais n'a quasiment pas muté entre-temps, montrant qu'elle n'a pas circulé à bas bruit ou ressurgi d'un réservoir animal. Selon l'étude publiée dans *Nature*, l'explication la plus probable est que le premier cas de la flambée de 2021 soit en fait un survivant de la précédente, chez qui le virus se serait caché pendant cinq ans avant de se réactiver en 2021. **N. G. C.**

CAROL VALADE/AFP

Une campagne de vaccination a été lancée par la Guinée après l'apparition de nouveaux cas d'Ebola en février (ici à l'hôpital de Nzérékoré).

LA CITÉ DES CONGRÈS DE NANTES || DU 29 OCTOBRE AU 1ER NOVEMBRE 2021

WWW.UTOPIALES.ORG

La première tomate CRISPR commercialisée

ALIMENTATION Rouge, sicilienne et enrichie en GABA (acide gamma amino-butyrique, neurotransmetteur impliqué dans le fonctionnement cérébral) : voici la Sicilian Rouge high GABA, première tomate génétiquement modifiée par la méthode CRISPR. Commercialisée au Japon par Sanatech Seed qui la pare de vertus antistress, sa modification génétique lui permet de contenir cinq fois plus de GABA qu'une tomate normale. **S. R.-M.**

SANATECH SEED

Cette tomate génétiquement modifiée contiendrait cinq fois plus d'acide antistress.

Un laxatif contre les trous de mémoire

NEUROLOGIE Indiqué dans le traitement de la constipation chronique, le prucalopride a la particularité de se fixer à un récepteur de la sérotonine, un neurotransmetteur essentiel au bon fonctionnement du cerveau. C'est ce qui a donné l'idée à des psychiatres de tester son effet sur les fonctions cognitives de 44 volontaires sains… révélant une surprenante amélioration de la mémoire et de l'activité cérébrale mesurée par IRM. **H. R.**

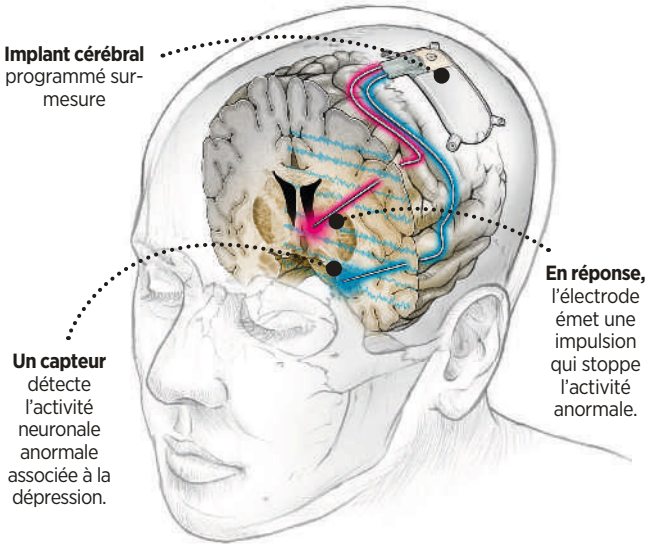
SOURCE : ANGHARAD DE CATES, UNIVERSITÉ D'OXFORD, ROYAUME-UNI.

Une dépression soignée par stimulation cérébrale profonde

Des chirurgiens ont implanté un dispositif qui détecte l'onde cérébrale responsable du trouble depressif et émet une impulsion électrique pour « éteindre » le phénomène.

« *C'est comme si ma vision du monde avait changé* », résume Sarah, 36 ans, qui a bénéficié d'un implant cérébral personnalisé pour traiter sa dépression sévère chronique, résistante à tous les autres traitements. Une rémission présentée dans la revue *Nature Medicine*. Le dispositif de stimulation cérébrale profonde utilisé permet de court-circuiter l'activité neuronale propre à la dépression de cette patiente.

L'équipe de l'université de Californie de San Francisco (États-Unis) a d'abord cartographié les schémas d'activation correspondant à ses symptômes : une onde cérébrale rapide (onde gamma) dans l'amygdale a été identifiée comme biomarqueur de ses graves troubles de l'humeur. En envoyant une impulsion électrique ciblée pour contrer celle-ci, l'humeur de la patiente s'en trouvait modifiée : « *La première fois en cinq ans que je riais et souriais* », rapporte-t-elle. Les chirurgiens ont donc implanté un dispositif permanent programmé pour détecter l'onde gamma responsable et émettre une impulsion électrique pour « éteindre » la dépression. **H. J.**



KEN PROBST/UCSF

Le cœur artificiel Carmat implanté maintenant chez une femme

CARDIOLOGIE Pour la première fois, la prothèse bio-artificielle de cœur développée par l'entreprise française Carmat a été implantée avec succès chez une femme aux États-Unis.

AFP

La prothèse bio-artificielle de l'entreprise française Carmat.

Jusqu'ici, seuls des hommes avaient reçu ce « cœur bionique », un doute subsistant sur la possibilité de greffer l'appareil dans une cage thoracique féminine, plus étroite. « *La peur lors d'une transplantation, c'est toujours de ne pas pouvoir refermer le thorax* », a commenté Stéphane Piat, directeur général de l'entreprise. **H. J.**

IL A DIT

« La souche ancestrale de l'hépatite B existait déjà il y a 12 000 à 20 000 ans, et il est possible qu'elle nous infectait bien avant, potentiellement depuis le début de notre espèce ! »

Arthur Kocher, chercheur à l'institut Max-Planck (Allemagne) à propos de son étude retraçant l'histoire évolutive de l'hépatite B.

SHUTTERSTOCK

La production de grandes quantités de composés volatils soufrés dans la salive entraîne un dégoût pour les choux.

L'aversion pour les choux élucidée

MICROBIOTE Chou-fleur, brocolis ou chou de Bruxelles contiennent un composé (S-méthyl-L-cystéine sulfoxyde) qui, lorsqu'il se mélange à une enzyme produite par certaines bactéries du microbiote buccal, produit des composés volatils à l'odeur nauséabonde. En mélangeant de la poudre de chou-fleur avec des échantillons de salive d'enfants et de parents, des chercheurs montrent que plus la concentration de l'enzyme est élevée dans la bouche, plus l'aversion est importante, en particulier chez les enfants. **H. J.**

SOURCE : DAMIAN FRANK, INSTITUT DE RECHERCHE NORTH RYDE, AUSTRALIE.

ALAIN HERZOG/EPFL

Les comportements moteurs spontanés de l'enfant peuvent être perturbés par la réalité virtuelle immersive.

Le développement de l'enfant étudié en réalité virtuelle

MOTRICITÉ Équipés de capteurs de mouvement, 80 enfants de 6 à 10 ans ont été soumis à deux expériences immersives impliquant de contrôler soit la tête, soit le torse. Les résultats montrent un effet perturbateur de la réalité virtuelle sur leur motricité : après 8 ans, les enfants utilisent tête et torse comme un bloc figé, alors que dans la réalité, c'est l'âge où ils arrivent à dissocier et coordonner les deux. **A. D.**

SOURCE : SILVESTRO MICERA, ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE LAUSANNE, SUISSE.

Les Néerlandais rapetissent

PHYSIOLOGIE Devenus de plus en plus grands au cours du siècle dernier, les Néerlandais voient leur taille diminuer depuis les années 2000. Selon une étude menée par l'Office central des statistiques, un homme de 19 ans mesure aujourd'hui en moyenne 182,9 cm, contre 183,9 cm pour un homme né en 1980. Cette inversion de la croissance serait due notamment à l'immigration et à de mauvaises habitudes alimentaires. **H. J.**

www.lesproduitsdumois.com

GÉREZ LE STRESS ET BOOSTEZ VOTRE ÉNERGIE !

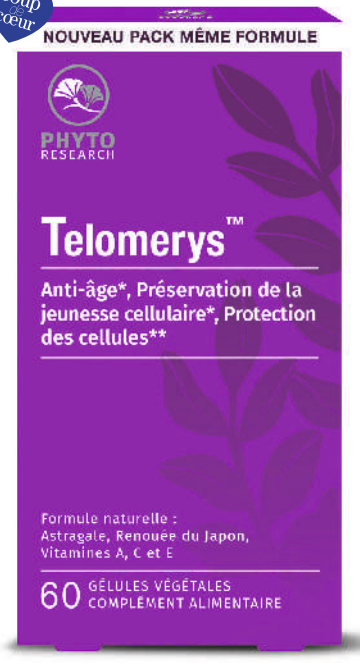
Retrouvez énergie et sérénité grâce à **D-Stress® Booster** ! Formule unique et brevetée agissant durablement sur le stress au quotidien. Un sachet de **D-Stress® Booster** contient 200 mg de magnésium et des vitamines B qui contribuent au métabolisme énergétique et à la diminution du stress.
D-Stress® Booster votre allié contre le stress ! Agit en 30 min, sans accoutumance. Prendre 1 sachet par jour, le matin.
● Laboratoire Synergia. En pharmacie, env. 17€, boîte 20 sachets, ACL 5136879 ou commandez sur www.synergiashop.com ou par téléphone au 04 77 42 30 10.

BIEN DORMIR AVEC D-STRESS® SOMMEIL

D-Stress® Sommeil est l'association de la **formule D-Stress®, riche en magnésium, et du pavot de Californie** (Eschscholzia californica). Le pavot de Californie est reconnu pour ses **propriétés sédatives** qui vous aideront à retrouver naturellement un sommeil réparateur. Il contribue ainsi à une **amélioration de l'endormissement** et à une **réduction des réveils nocturnes**.
● Sans accoutumance, il agit dès le 1er comprimé. Laboratoire Synergia. En pharmacie, env.14€, boîte 40 cps, ACL 6239626, commandez sur www.synergiashop.com ou au 04 77 42 30 10.

INNOVATION ANTI-ÂGE

coup de cœur



Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale capable de **ralentir le vieillissement cellulaire.**
Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E. Formule anti-âge inédite**, deux gélules végétales par jour suffisent pour constater **une diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un **regain d'énergie**.

● En pharmacie - Boîte de 60 gélules végétales - ACL 6024256 - Convient aux végétaliens - Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos D.R.

Ce bracelet fait partie des 22 objets en or vieux de 1500 ans mis au jour à Vindelev.

KONSERVERINGSCENTER VEJLE

Le dieu Baldr face au corbeau du dieu Odin est délicatement gravé sur cette médaille.

Ce trésor revisite l'histoire pré-viking

Découvertes au Danemark, des fines feuilles d'or aux inscriptions runiques représenteraient des versions primitives de personnages de la mythologie nordique.

Vingt-deux bijoux en or dissimulés dans un champ sur la commune de Vindelev, dans la partie continentale du Danemark ! Découvert en 2020 par un amateur muni d'un détecteur de métaux (et autorisé à prospecter), ce trésor vient d'être daté par des chercheurs du Musée archéologique de Vejle, au Danemark, ainsi que par des experts du Musée national danois à la suite de fouilles menées cet été : il aurait été enfoui il y a environ 1500 ans, soit 300 ans avant l'ère viking.

La plupart des objets sont des bractéates, de fines feuilles d'or frappées, dont l'empreinte apparaît en relief sur l'endroit et en creux sur l'envers, de la taille d'une soucoupe à café ; les autres, d'anciennes pièces de monnaie romaines transformées en bijoux. Les bractéates étaient portées autour du cou afin de montrer avec quel partenaire on avait fait alliance. Ici, leur taille impressionne : *« Certaines remplissent une main, alors que les objets de ce genre sont généralement de la taille d'un centime »*, rapporte Mads Ravn, responsable de la recherche du Musée archéologique de Vejle, où se trouve désormais la précieuse trouvaille. *« C'est un trésor comme on en découvre rarement »*, savoure-t-il. Par sa beauté, mais aussi parce qu'il apporte de nouveaux indices sur l'histoire du Danemark.

Sur l'une des bractéates, les scientifiques pensent avoir décrypté une inscription runique signifiant *« le très haut »*. Cela pourrait faire référence à un souverain de l'époque. Ou bien peut-être désigner celui qui, dans la mythologie viking, est associé à ce terme : le dieu Odin. Dans ce cas, le précieux bijou serait une des premières versions du dieu principal de la mythologie nordique. De quoi étayer les théories de certains chercheurs danois, qui pensent que les origines de l'ère viking et d'un royaume danois uni remontent à la fin de l'âge du fer. Mais le travail de déchiffrage de ces pièces d'exception ne fait que commencer, et le *« trésor de Vindelev »* est encore loin d'avoir livré tous ses secrets. ■ **Sara de Lacerda**

Les hominidés ont perdu leur queue d'un coup

ÉVOLUTION En comparant les génomes de différents primates, des généticiens ont identifié une mutation qui aurait, à elle seule, fait disparaître la queue des hominidés et des grands singes il y a environ 25 millions d'années. La transformation morphologique aurait ainsi eu lieu de façon soudaine et non pas progressive comme on le pensait. Impossible pour l'heure d'expliquer pourquoi cette mutation a été sélectionnée au cours de l'évolution. **H. J.**

SOURCE : BO XIA, UNIVERSITÉ DE NEW YORK, ÉTATS-UNIS.

Des écoliers découvrent un manchot géant

PALÉONTOLOGIE C'est bien à une nouvelle espèce de manchot géant qu'appartiennent les ossement fossilisés découverts en Nouvelle-Zélande par des élèves lors d'une excursion scolaire en 2006. C'est ce que révèlent des paléontologues après quinze ans d'analyses. L'animal baptisé Kairuku waewaeroa vivait là il y a quelque 30 millions d'années et mesurait environ 140 cm. J. I.

SOURCE : SIMONE GIOVANARDI, UNIVERSITÉ MASSEY, AUCKLAND, NOUVELLE-ZÉLANDE.

SIMONE GIOVANARDI

Kairuku waewaeroa vivait en Nouvelle-Zélande il y a 30 millions d'années (vue d'artiste).

ATELIER DES LUMIÈRES

EN COLLABORATION AVEC LE **CNES**

DESTINATION COSMOS

L'ULTIME DÉFI

RÉSERVATIONS **ATELIER-LUMIERES.COM**

cnes | Le Parisien | SCIENCES AVENIR | le Bonbon | PARIS PREMIÈRE | RTL | BARCO | SPECTRELab | culturespaces PARTAGER LA CULTURE | CULTURESPACES DIGITAL

AP/SIPA

Ces traces confirment la présence de l'humain en Amérique du Nord deux fois plus tôt que ce qu'on pensait.

Un peuplement beaucoup plus précoce de l'Amérique

Des empreintes de pas vieilles de 23 000 ans ont été découvertes dans le sud-ouest des États-Unis.

Des traces de pas fossilisées vieilles de 23 000 ans suggèrent que le peuplement de l'Amérique du Nord par l'espèce humaine était déjà entamé bien avant la fin de la dernière période glaciaire. Elles ont été découvertes dans le sud-ouest des États-Unis, au Nouveau-Mexique, dans le parc national de White Sands, un désert de gypse blanc. C'est vraisemblablement dans la boue des berges d'un lac aujourd'hui asséché que ces *Homo sapiens* ont laissé leurs empreintes. *« De nombreuses traces semblent être celles d'adolescents et d'enfants,* écrit l'équipe internationale dans *Science. Les grandes empreintes de pas d'adultes sont moins fréquentes.* » De par leur caractère anthropique incontestable, ces traces de pas confirment la présence de l'humain en Amérique du Nord pendant le dernier maximum glaciaire, soit près de deux fois plus tôt que ce qu'on pensait jusqu'ici. Deux études en 2020 suggéraient la même chose, mais ne s'appuyaient alors sur aucune signature corporelle. **H. J.**

JACOPO NICCOLÒ CERASONI

Les plus anciens instruments de couture marocains

ARCHÉOLOGIE Vieux de 120 000 ans, les plus anciens outils jamais découverts pour la confection d'habits ont été mis au jour dans la grotte des Contrebandiers près de Rabat, au Maroc. La soixantaine d'objets en os retrouvés ont été intentionnellement façonnés pour le travail du cuir et de la fourrure. **H. J.**

SOURCE : EMILY HALLETT, INSTITUT MAX PLANCK, ALLEMAGNE.

125 millions d'années

L'âge de cellules préservées

PALÉONTOLOGIE **Les restes de molécules organiques et de chromatine (de l'ADN) ont été découverts dans les cellules cartilagineuses fossilisées d'un dinosaure vieux de 125 millions d'années. Pour autant, il y a peu de chance de pouvoir récupérer du matériel génétique, sans doute trop altéré.** **M. B.**

SOURCE : XIAOTING ZHENG, LINYI UNIVERSITY, CHINE.

La datation du monumental « Camel Site » repoussée de 6000 ans

ART RUPESTRE Au nord de l'Arabie saoudite, les reliefs animaliers de « Camel Site », une douzaine de dromadaires taillés dans le rocher, composent une fresque rupestre d'exception, ciselée grandeur nature. Une première datation de ces camélidés, découverts en 2018, les avait fait remonter à l'Antiquité. Mais cette caravane pétrifiée appartiendrait à une époque bien plus ancienne. De nouvelles analyses viennent, en effet, d'en situer la création au VI[e] millénaire avant notre ère. **B. A .**

CNRS/MADA.I.R SCHWERDTNER

Ces 12 dromadaires taillés dans le rocher, dateraient du VI[e] millénaire avant notre ère.

SOURCE : MARIA GUAGNIN, INSTITUT MAX PLANCK, ALLEMAGNE.

Les plus vieilles traces de feu attestées en France

PRÉHISTOIRE Des indices de combustion vieux de 560 000 ans, ont été détectés dans la Caune de l'Arago, à Tautavel (Pyrénées-Orientales). Selon le CNRS, ils feraient reculer de 160 000 ans l'âge des plus anciennes traces de feu connues en France. Reste à prouver qu'elles sont bien d'origine anthropique. **B. A.**

SOURCE : DAMIEN DELDICQUE, LABORATOIRE DE GÉOLOGIE DE L'ENS, FRANCE.

De rares squelettes de croisés exhumés au Liban

C. DOUMET-SERHAL, THE SIDON EXCAVATION

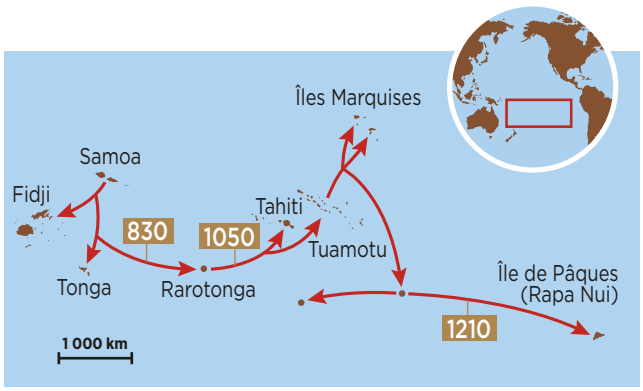
Les dépouilles ont été identifiées grâce à des monnaies et des boucles de ceintures.

ARCHÉOLOGIE De rarissimes charniers du XIIIe siècle ont été retrouvés au pied du château Saint-Louis, à Sidon (Liban). Ils contenaient les restes enchevêtrés d'au moins 25 croisés. Couverts de blessures mortelles infligées par des armes tranchantes, les dépouilles ont été identifiées grâce à des monnaies datant des croisades et des boucles de ceintures franques. Ces morts pourraient être liés à l'attaque mamelouke de la citadelle franque de 1253. **B. A**

ELLE A DIT

« Il n'y aura plus jamais de mammouths sur Terre. Si cela fonctionne, ce sera un éléphant chimérique, un organisme totalement nouveau, synthétique et génétiquement modifié »

Tori Herridge, paléontologue au muséum d'Histoire naturelle de Londres, réagissant au projet de clonage d'un mammouth de la société Colossal.



BRUNO BOURGEOIS

La génétique retrace les grandes migrations en Polynésie

ANTHROPOLOGIE Le séquençage du génome de 430 habitants vivant sur 21 îles du Pacifique Sud a permis d'offrir une spectaculaire cartographie des peuplements pionniers dans cette vaste région. Les premières populations parties des Samoa, à l'ouest, auraient atteint Rarotonga, puis les îles de la Société (Tahiti) vers 1050, avant l'immense archipel des Tuamotu vers 1110. De là, d'autres expéditions se seraient élancées, notamment vers l'est, rejoignant Rapa Nui, la célèbre île de Pâques, au XIIe siècle. **B. A.**

SOURCE : A. IOANNIDIS, UNIVERSITÉ STANFORD, ÉTATS-UNIS.

www.sciencesetavenir.fr
www.larecherche.fr
Sciences et Avenir et *La Recherche*
au quotidien

NATURE

« Il faut d'autres relations avec le vivant »

Maître de conférences en philosophie à l'université d'Aix-Marseille, mais aussi naturaliste et pisteur averti, Baptiste Morizot plaide pour une attention nouvelle aux *« autres manières d'être vivant »*, tournant le dos au dualisme entre humains et non-humains que porte le concept de nature. Entretien sur le site de *La Recherche*.
Lien : https://bit.ly/3Ao01mu

J.CHAPMAN/BIOSPHOTO

GÉOPOLITIQUE

La région Indopacifique, nouveau centre du monde

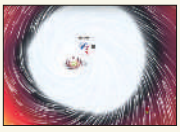
L'affaire des sous-marins français pour l'Australie a fait surgir le concept d'Indopacifique. Dans un entretien exclusif, Delphine Allès, professeure à l'Institut national des langues et civilisations orientales (Inalco), décrypte cette entité géopolitique.
sciav.fr/897indo

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

SI VOUS AVEZ...

2 minutes

Un drone au cœur d'un ouragan

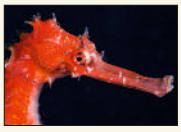


SAILDRONE

L'intérieur d'un ouragan de catégorie 4 a pu être filmé pour la première fois en pleine mer grâce à un drone ressemblant visuellement à une planche à voile.
sciav.fr/897ouragan

10 minutes

L'insoupçonnable rapidité des hippocampes



BIOSPHOTO

Les hippocampes sont des nageurs très lents, mais une récente étude montre qu'ils sont capables d'étirer leur tête très rapidement pour aspirer leurs proies.
sciav.fr/897hippocampes

15 minutes

La radioactivité agit sur environnement

SHUTTERSTOCK

Une équipe s'est penchée sur la landmoduline, molécule qui, en se liant aux matières radioactives pourrait diminuer la dangerosité de ces dernières.
sciav.fr/897radioactivite

Vous êtes déjà plus de 2 millions à nous suivre sur Facebook

Tempêtes, canicules
L'ère des extrêmes

Les chercheurs en apportent la preuve : certains événements météorologiques extrêmes récents sont accentués par le changement climatique. Tempêtes, canicules et inondations vont se multiplier si des mesures concrètes contre le réchauffement ne sont pas prises. Cartes et infographies à l'appui, « Sciences et Avenir » dresse une perspective alarmante.

Dossier réalisé par
Loïc Chauveau avec Hugo Jalinière

DÉCRYPTAGE
Six exemples d'événements météorologiques extrêmes
p. 37

INTERVIEW
L'urgence climatique est aussi une urgence de santé publique
p. 41

ANALYSE
Les cartes de France des zones à risques
p. 42

RENDEZ-VOUS
Les enjeux du sommet de la COP26
p. 49

SHUTTERSTOCK

XOSE BOUZAS/HANSLUCAS.COM

▲ **Les températures extrêmes** (ici à Paris le 25 juillet 2019) seront de moins en moins exceptionnelles.

C'est un rapport qui pèse lourd : 360 pages. Il a été impossible aux experts de l'évolution du climat de faire plus court pour expliquer que certains événements météorologiques extrêmes récents n'auraient pas eu lieu sans le changement climatique induit par les activités humaines. Des événements exceptionnels qui sont appelés à l'être de moins en moins, dans le monde, mais aussi en France. « *C'est un fait établi que les émissions de gaz à effet de serre produites par l'humain ont mené à une fréquence ou une intensité de certains extrêmes météorologiques et climatiques depuis l'époque pré-industrielle, en particulier pour les températures exceptionnelles* », écrivent les dizaines de chercheurs du monde entier qui ont participé à la rédaction du 6e rapport sur les sciences physiques du changement climatique remis le 9 août par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec). Ce qui était une présomption impossible à étayer scientifiquement lors du rapport précédent, publié en 2014, est devenu une certitude. « *Les preuves de changement observées sur les événements extrêmes et leur attribution à l'influence humaine se sont renforcées, en particulier pour les très fortes précipitations, les sécheresses, les cyclones tropicaux et des phénomènes associés comme les vagues de chaleur et les incendies de forêt* », assènent les auteurs.

La météo en cause dans 50 % des catastrophes

Les scientifiques ne nient pas l'évidence : l'humanité vit depuis toujours avec les catastrophes naturelles. Dans son « Atlas de la mortalité et des pertes économiques dues aux phénomènes météorologiques, climatiques et hydrologiques extrêmes (1970-2019) » publié en août, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) détaille que les aléas météorologiques ont été à l'origine de la moitié de toutes les catastrophes recensées lors de ce demi-siècle, de 45 % des décès et de 74 % des pertes économiques. Ces cinquante dernières années, un événement d'origine météo, climatique ou hydrologique a eu lieu tous les jours dans le monde. Quotidiennement, 115 personnes en sont mortes et plus de 170 millions d'euros de biens ont été détruits. Mais la question se pose : sommes-nous uniquement victimes des caprices de notre planète ou l'humanité a-t-elle une responsabilité croissante dans leur survenue ? Réponse des scientifiques : le changement climatique est bien là ; il n'a pas attendu la fin du XXIe siècle pour montrer sa puissance délétère. Il ne fait plus de doute que son moteur, c'est la température mondiale qui grimpe sous l'effet de la croissance continue des teneurs en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. « *En émettant ces derniers, l'humain alimente en énergie le système climatique terrestre,* résume Jean Jouzel, chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, Saclay). *Plus il y a de chaleur, plus il y a de vapeur d'eau et plus il y a de précipitations et donc plus de "carburant" pour les événements météorologiques.* » En toute logique, ce surcroît en énergie perturbe le cycle de l'eau, provoque ici des inondations surprises, là des sécheresses longues.

En moins de deux décennies, l'attribution de tels épisodes au changement climatique a fait un bond de géant. « *Jusqu'il y a peu, on prenait bien soin de ne pas mélanger les variations rapides du temps qu'il fait avec le temps long du climat* », rappelle Pascale Braconnot, climatologue au CEA (Saclay). Le changement climatique se mesurait donc à partir de la hausse des teneurs en CO_2 dans l'atmosphère (aujourd'hui de 419 parties par million avec une croissance lors de la dernière décennie de 2,4 ppm par an) et de l'augmentation de la température moyenne de la planète de 1,1 °C depuis le début de l'ère industrielle. Des valeurs difficiles à appréhender. Il en est autrement quand la température dépasse les 45 °C en France ou

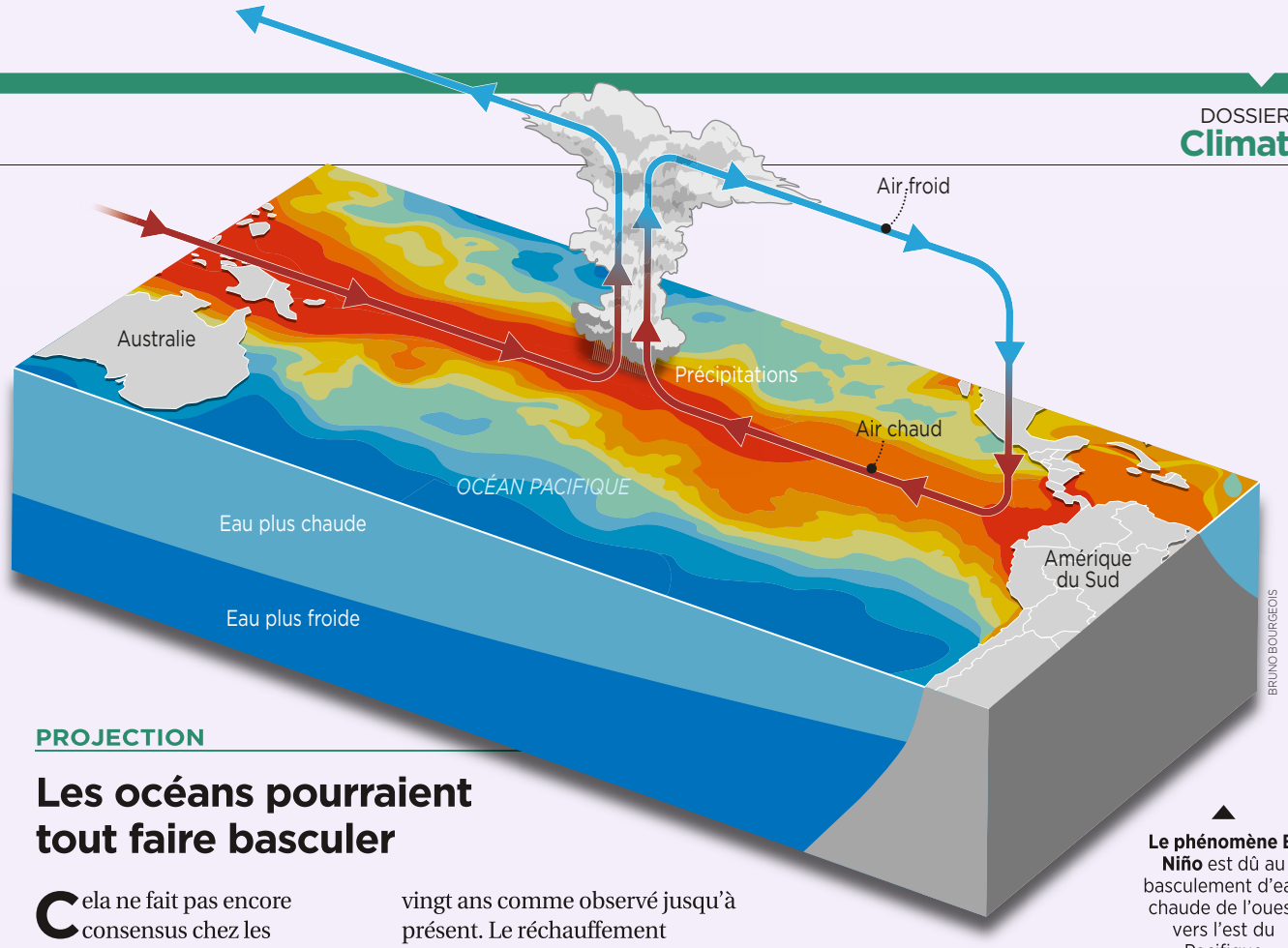
FOCUS

Les trois alertes du 6e rapport du Giec

▶ **Sans action immédiate, l'humanité va entrer dans une nouvelle ère climatique dont les effets sur les écosystèmes et l'activité humaine sont inconnus.**

▶ **L'augmentation des teneurs en CO_2 dans l'atmosphère s'opère à une rapidité jamais vue dans toute l'histoire géologique de la Terre.**

▶ **Cette bascule climatique peut encore être évitée si les actions de réduction des gaz à effet de serre sont immédiates et profondes.**



Le phénomène El Niño est dû au basculement d'eau chaude de l'ouest vers l'est du Pacifique consécutif à l'affaiblissement des alizés. Ce phénomène entraîne des inondations en Amérique latine et des sécheresses marquées en Australie et Asie.

PROJECTION

Les océans pourraient tout faire basculer

Cela ne fait pas encore consensus chez les climatologues, mais les événements de type El Niño, qui occasionnent de terribles inondations en Amérique du Sud et des sécheresses en Australie et en Indonésie, pourraient devenir de plus en plus extrêmes et de plus en plus fréquents avec le réchauffement. Ainsi, des épisodes intenses surviendraient tous les dix ans et au lieu de vingt ans comme observé jusqu'à présent. Le réchauffement pourrait en effet favoriser un affaiblissement des alizés dans l'océan Pacifique, conduisant les eaux chaudes de surface à refluer vers l'est, avec les précipitations qui les accompagnent. Par ailleurs, dans l'océan Atlantique, le réchauffement conduirait paradoxalement à des hivers beaucoup plus rudes en Europe occidentale. Ce serait cette fois la conséquence d'un affaiblissement de la circulation méridienne de l'Atlantique Nord, c'est-à-dire des courants marins grâce auxquels l'Europe bénéficie aujourd'hui d'un climat tempéré. Cette circulation connaît déjà un ralentissement sans précédent qui s'expliquerait par la fonte des glaces de l'Arctique et du Groenland. ■

quand il tombe 250 à 300 millilitres d'eau en 24 heures comme dans le Gard le 14 septembre. Le changement climatique devient soudain bien réel.

Mais ce n'est qu'en 2005 qu'un climatologue de l'université d'Oxford (Royaume-Uni), Myles Allen, s'est demandé, pour la première fois, si le changement climatique sur lequel il travaillait ne serait pas en partie à l'origine des inondations catastrophiques exceptionnelles qui affectaient cette année-là la région d'Oxford. « *Un grand nombre de modèles sont nécessaires pour évaluer la fréquence d'événements extrêmes (qui, par définition, sont rares) et comment cette fréquence peut changer* », posent Myles Allen et ses collègues Friederike Otto et Rachel James. Dans le principe, ces études d'attribution comparent la fréquence d'un événement extrême dans le monde tel qu'il est (avec l'influence humaine sur le climat) avec un modèle représentant « le monde tel qu'il devrait être », avec l'influence humaine retirée. Sur ces bases, toute une communauté scientifique s'est mobilisée jusqu'à la création en 2015 d'un groupe officiel, le World Weather Attribution. « *Notre travail ne s'intéresse plus seulement au climat d'il y a des milliers d'années ni à celui du futur prédit par nos modèles, mais devient pertinent pour l'instant présent* », note Davide Faranda, chercheur au LSCE.

Reste que la science météorologique doit encore progresser. Des phénomènes météo comme ceux qui ont ravagé la vallée de la Roya (Alpes-Maritimes) en 2020

VERBATIM

ROBERT VAUTARD DIRECTEUR DE L'INSTITUT PIERRE-SIMON LAPLACE (IPSL), AUTEUR PRINCIPAL DU 6e RAPPORT DU GIEC

Comment lier un événement météo au changement climatique

« À chaque fois qu'un événement météorologique extrême survient, la question du lien avec le changement climatique est posée. Question importante puisque si la réponse est positive, il faut s'attendre à ce qu'il se reproduise voire s'intensifie. Comment faire ? La première étape est de bien poser la question. Les événements météorologiques peuvent en effet survenir naturellement par le fruit du hasard. En revanche, leur probabilité peut être altérée par l'augmentation des températures globales. On s'attache donc à bien caractériser l'événement (région d'impact, durée…), à en construire un indicateur pertinent, avant d'estimer ses changements de probabilité. La seconde étape est de collecter les observations disponibles pour calculer les tendances observées de la probabilité de l'événement. Parfois cela est difficile car c'est un record, ou bien parce que les observations ne remontent pas assez loin. La modélisation statistique des observations permet alors de quantifier ces tendances, même pour des valeurs au-delà des records, et leur incertitude. Mais cela ne suffit pas. Il faut pouvoir montrer que cette tendance observée est due à l'augmentation des gaz à effet de serre, et non à d'autres facteurs. Il faut une expérience « contrefactuelle » avec des conditions similaires sauf pour les gaz à effet de serre, remis à leurs concentrations pré-industrielles. Il faut alors faire intervenir des simulations numériques. En comparant deux jeux de simulations, (gaz à effet de serre actuels et pré-industriels), on peut ainsi estimer la différence de probabilité des événements. C'est ainsi que, avec des simulations comme celles utilisées pour les rapports du Giec, on peut maintenant, en quelques semaines, faire une analyse des événements qui se produisent au fil du temps, et établir, ou non, leur lien avec l'augmentation des gaz à effet de serre. C'est une activité développée notamment par le réseau scientifique international World Weather Attribution auquel contribue, en France, l'Institut Pierre-Simon Laplace. ■

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

ou le Gard en septembre dernier demeurent imprévisibles car ultralocalisés. De même, le blocage de masses d'air qui a provoqué la catastrophe en Allemagne l'été dernier *(lire p. 38)* aurait très bien pu se produire n'importe où entre les Alpes et l'océan Atlantique. Même problème pour les orages cévenols qui n'affectent que des territoires très limités : même avec une maille de 1,3 km, le modèle numérique Arome de Météo France ne peut prédire précisément où vont percer les nuages et avec quelle intensité. C'est le défi scientifique des prochaines années.

Gouvernants et industriels devant les tribunaux

En attendant, le travail académique du World Weather Attribution a déjà des applications économiques, sociales, politiques. Des associations environnementales attaquent devant les tribunaux gouvernants et industriels pour dénoncer leur inaction devant le changement climatique. Aux Pays-Bas, l'association Urganda a obtenu, en décembre 2019, de la Cour suprême de justice qu'elle exige que l'État néerlandais réduise ses émissions de gaz à effet de serre. « *Il faut pouvoir déterminer la part de responsabilité du changement climatique afin que les victimes aient la possibilité d'intenter un procès aux autorités et entreprises ne luttant pas contre un risque reconnu* », rappelle Aglaë Jezequel, chercheuse au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD/Institut Pierre-Simon Laplace, IPSL), qui prépare d'ailleurs avec ses collègues de l'IPSL un dictionnaire du vocabulaire climatique destiné aux juristes. « *L'intérêt est autant social que scientifique* », conclut-elle. ■ **L. C.**

Le jour d'après a commencé

À partir de six exemples d'événements météorologiques extrêmes que les scientifiques ont reliés avec certitude au réchauffement, voici ce qui nous attend dans les décennies à venir.

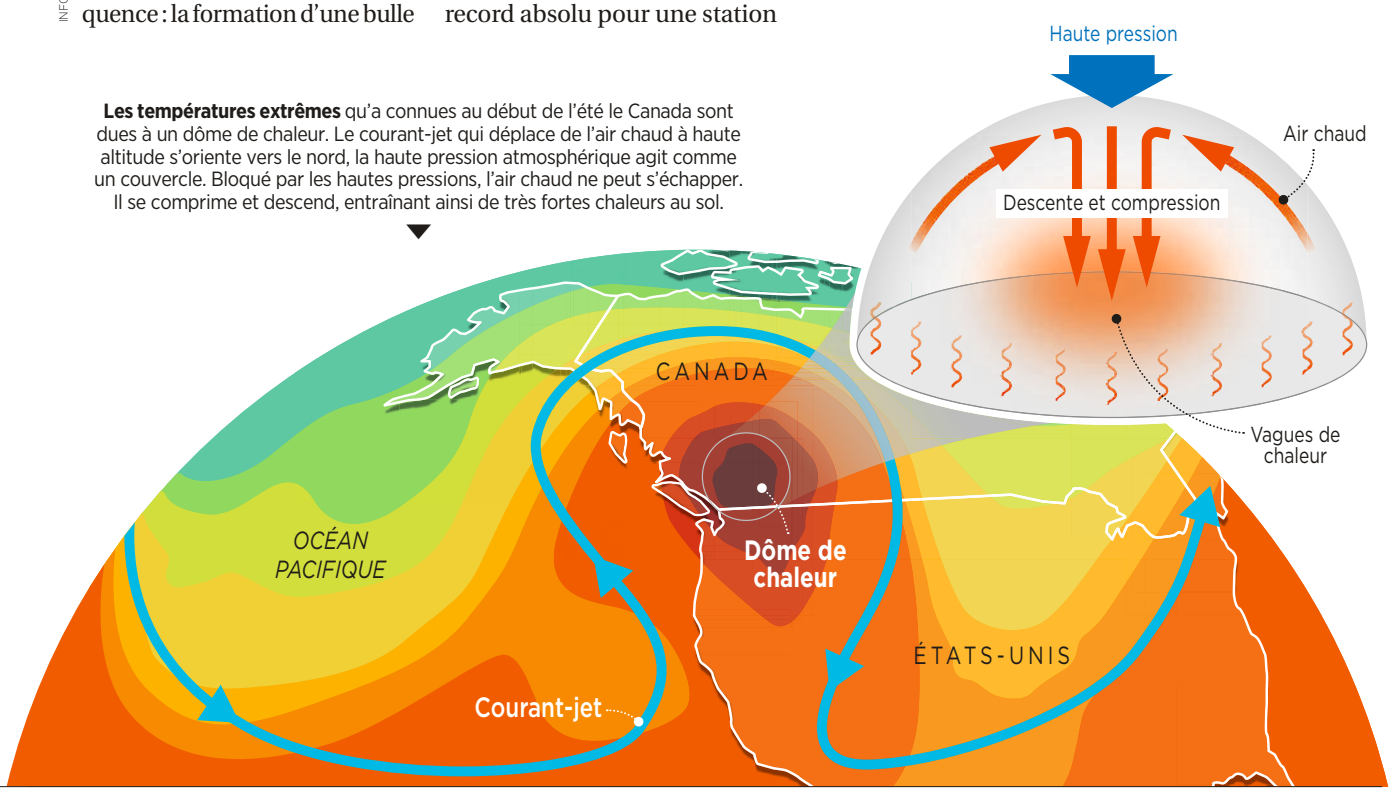
1 Les dômes de chaleur vont se multiplier

Le phénomène météorologique extrême qui causé la pire vague de chaleur de l'histoire récente du Canada à l'été 2021 est le même que celui dont fut victime la France en 2003 : un dôme de chaleur. Un événement dû à une remontée de chaleur (ici depuis le Mexique) qui a été bloquée par un anticyclone puissant. Conséquence : la formation d'une bulle d'air chaud qui est montée très haut en altitude. Ce dôme de chaleur a détourné pendant plusieurs jours vers le pôle Nord les dépressions en provenance du Pacifique. Le 29 juin 2021, un record de 49,6 °C a été enregistré au pied de la chaîne des Rocheuses dans le village de Lytton, détruit juste après par un incendie... C'est près de 5 °C de plus que le précédent record canadien de 45 °C enregistré en 1937. C'est également un record absolu pour une station située au-dessus de 50 degrés de latitude nord, selon Météo France. En à peine quelques semaines les meilleures universités américaines et canadiennes ont publié sur le site du programme World Weather Attribution une *« analyse rapide »* sur les liens entre cet événement météorologique extrême et le changement climatique en cours. Et ils sont affirmatifs : un tel événement n'aurait pas eu cette intensité sans l'augmentation des températures mondiales depuis le début de l'ère industrielle.

En soi, la situation météo n'était pas exceptionnelle : c'est l'intensité qui l'était. Selon les estimations statistiques les plus réalistes, de telles températures pourraient n'arriver qu'une fois tous les 1000 ans dans le climat de ce début de XXIe siècle. Aussi peut-être ne s'agissait-il que d'un épisode isolé même s'il a été aggravé par le réchauffement climatique.

INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS

Les températures extrêmes qu'a connues au début de l'été le Canada sont dues à un dôme de chaleur. Le courant-jet qui déplace de l'air chaud à haute altitude s'oriente vers le nord, la haute pression atmosphérique agit comme un couvercle. Bloqué par les hautes pressions, l'air chaud ne peut s'échapper. Il se comprime et descend, entraînant ainsi de très fortes chaleurs au sol.



Mais les scientifiques n'excluent pas que des interactions au sein du système climatique font que nous aurions franchi des seuils irréversibles augmentant la probabilité de la survenue de tels événements, auxquels l'Europe est également soumise.

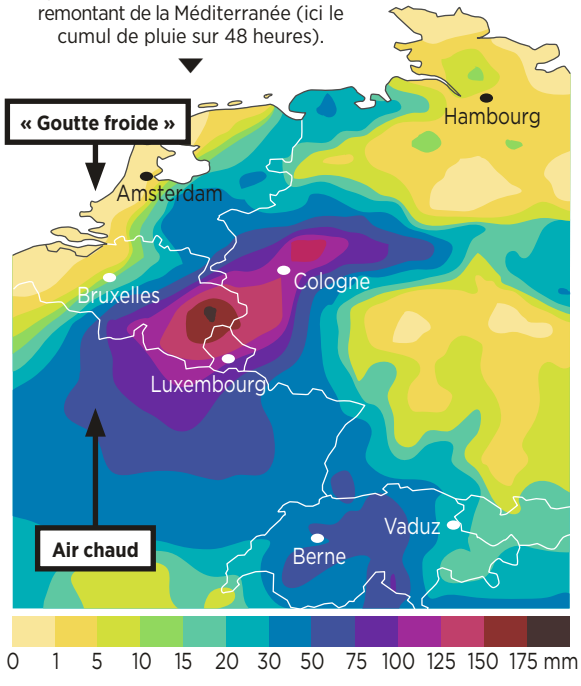
2 Les canicules gagneront en intensité

45,9 °C constatés le 28 juin 2019 dans le Gard. Le nouveau record national pourrait devenir une température fréquente à la fin du siècle. C'est ce qu'affirment les chercheurs du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE, Saclay) et de Météo France. Ils ont épluché les statistiques météo jusqu'au début du XX[e] siècle pour retrouver des vagues de chaleur similaires. Afin de faciliter les comparaisons, les chercheurs n'ont pas pris les pics extrêmes mais la moyenne quotidienne des températures. Et ils ont choisi deux territoires d'étude : la France entière et la ville de Toulouse. Ces observations montrent que les vagues de chaleur de 2019 s'accompagnaient de températures plus élevées de 4 °C par rapport à 1900. Les chercheurs ont ensuite fait tourner leurs modèles pour mieux appréhender ce qui attend la France dans les prochaines décennies. *« La fréquence et l'intensité de ces événements vont continuer à augmenter, au fur et à mesure que les concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre montent,* assure Aurélien Ribes, chercheur au centre national de recherche météorologique de Météo France. *En 2040, les événements de même intensité qu'en 2019 seront environ quatre fois plus fréquents. Quant à ceux de même probabilité qu'en 2019, ils s'accompagneront de températures supérieures d'encore 1,2 °C.* »
Les modèles anticipent par ailleurs que les vagues de chaleur ne seront plus cantonnées aux mois les plus chauds mais se dérouleront entre mai et septembre. C'est-à-dire quand les écoles et la majorité des activités économiques de plein air sont ouvertes.

3 Les immenses feux incontrôlables ne pourront être évités

1,15 million d'hectares partis en fumée soit l'équivalent d'un vingtième de la surface agricole de la France ! Cet incendie d'une ampleur inimaginable s'est déroulé en juin 2020 dans la taïga sibérienne. Une conséquence directe de six mois consécutifs de températures élevées et de sécheresse. Entre janvier et juin 2020, jamais la Sibérie n'avait en effet connu une aussi longue période sans pluie. Le 20 juin, la ville de Krasnoïarsk enregistrait 38 °C sous abri, la plus haute température jamais observée dans l'Arctique. Les chercheurs du World Weather Attribution ont fait tourner leurs modèles. Ils ont ainsi montré qu'un tel phénomène n'arriverait que tous les 80 000 ans dans un climat non perturbé par l'activité humaine. Sauf que le changement climatique a multiplié par 600 les risques qu'une telle période sèche intervienne.
Aussi, la fréquence de ces « mégafeux » est en forte hausse. *« Avec les fortes chaleurs, les arbres arrêtent leur photosynthèse, si bien qu'ils ne fournissent plus de fraîcheur mais au contraire deviennent du bois à brûler »*, prévient Davide Faranda, chercheur au LSCE. Selon le programme européen Copernicus pour la surveillance de l'atmosphère, l'année 2021 a été une année record avec d'immenses sinistres en Sibérie, sur le pourtour méditerranéen et la côte ouest des États-Unis. Sans compter que ces événements alimentent l'emballement de la machine climatique en relâchant quantité de gaz à effet de serre : en juillet dernier, 1,2 milliard de tonnes de CO_2 ont ainsi été libérées et près de 1,4 milliard en août. Le bilan dépassait déjà celui des émissions annuelles de l'Union européenne…

Des innondations meurtrières ont eu lieu en Allemagne, au Luxembourg et en Belgique entre le 12 et 15 juillet dues à la combinaison d'air froid venant du pôle Nord et d'air chaud et humide remontant de la Méditerranée (ici le cumul de pluie sur 48 heures).



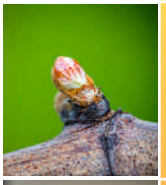
4 Les précipitations dantesques sont inévitables

La tempête Bernd qui a balayé l'Europe l'été dernier est l'archétype de ce qu'on appelle un « événement extrême ». Descendant du pôle Nord, une goutte froide très lente a stationné du 12 au 15 juillet sur les États allemands

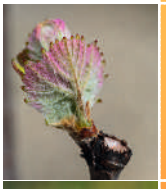
Pourquoi le gel frappera plus ou moins durement la vigne

Sensibilité au gel

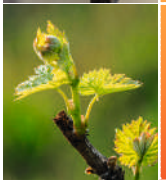
Au stade de bourgeon, les vignes peuvent supporter jusqu'à -8 °C.



Au stade pointe verte, les premiers dommages apparaissent dès -2 °C.



Les jeunes pousses vertes commencent à être affectées par le froid à -0,6 °C pour 30 minutes d'exposition.



Les bourgeons débourrés, les jeunes feuilles et les jeunes rameaux meurent à des températures de 0 à -0,5 °C.

PHOTOS : BIOSPHOTO - NATURAGENCY - NATURIMAGES - ARNAUD FINISTRE / HANSLUCAS VIA AFP - SOURCE : BIVB

La hausse des températures entraîne un éclatement des bourgeons plus tôt dans l'année et rend les plantes plus fragiles à une période où le gel peut encore se produire (ici des centaines de bougies ont été placées dans des parcelles de chardonnay, en Bourgogne, pour contrer son effet dévastateur).

de Rhénanie-du-Nord-Westphalie et de Rhénanie-Palatinat ainsi que sur la Belgique et le Luxembourg. Elle a aspiré de l'air chaud et chargé en humidité en provenance de la Méditerranée, provoquant une vaste perturbation pluvieuse. C'est le blocage de ce système météo qui a provoqué la destruction de milliards d'euros de biens et la mort de 184 personnes en Allemagne et 38 en Belgique. Le 14 juillet, il est tombé sur cette zone plus de deux mois de pluie en 12 heures.

Selon les scientifiques du World Weather Attribution, avec une température inférieure de 1,2 °C, l'intensité des précipitations aurait été moindre de 3 à 19 %. Pour arriver à cette estimation prudente, les chercheurs se sont concentrés sur trois bassins versants particulièrement affectés par les pluies : les rivières allemandes de l'Ahr et de l'Erft et la partie belge de la Meuse. Les volumes de précipitations sur ces petites régions dépassent tous les records enregistrés dans le passé. Comme il est très difficile de calculer l'occurrence d'un événement hors norme, les chercheurs ont utilisé les données d'épisodes similaires intervenus dans les régions comprises entre le nord des Alpes et les Pays-Bas. Ils ont ensuite fait tourner leurs modèles climatiques, les uns avec la température telle qu'elle était en 1850, les autres avec celle d'aujourd'hui. Non seulement les précipitations augmentent, observent les chercheurs, mais des événements d'une telle intensité estimée qui se seraient produits tous les 400 ans dans un climat plus froid, surviendront deux fois plus souvent avec les 1,2 °C de réchauffement déjà enregistrés. À 2 °C, l'intensité des pluies devrait encore augmenter de 0,8 à 6 % avec une fréquence toujours accrue. Impossible pour l'heure de dire en revanche si des épisodes méditerranéens tels ceux qui ont dévasté la vallée de la Roya le 2 octobre 2020 ou ravagé le Gard cette année en sont des témoins, le lien de cause à effet avec le réchauffement n'ayant pas encore été investigué.

5 Les épisodes de gel vont causer de plus en plus de dégâts

Entre le 6 et le 8 avril dernier, les températures nocturnes sont tombées en dessous de -5 °C, frappant des plantes en pleine floraison, ce qui conduira à des pertes énormes notamment dans les vignobles affectés à 90 %. Comment faire un lien, *a priori*

paradoxal, entre gel et réchauffement ? Il n'est pas direct : le changement climatique perturbe en réalité les étapes de croissance des végétaux, leur « phénologie ». La phase d'éclatement des bourgeons et l'émergence des organes reproducteurs sont en effet directement liées à la température. « *La chaleur indique à chaque espèce végétale le bon moment pour arriver à ce stade de développement* », précise Nicolas Viovy, chercheur au LSCE, à Saclay.

Les agronomes, comme les agriculteurs, ont constaté que les dates de débourrement des végétaux pluriannuels — vignes, arbres fruitiers — ont reculé de 15 jours en moyenne. Conséquence : les plantes connaissent leur période la plus fragile plus tôt dans l'année, donc à une période où les gels tardifs ont davantage de chance de se produire.

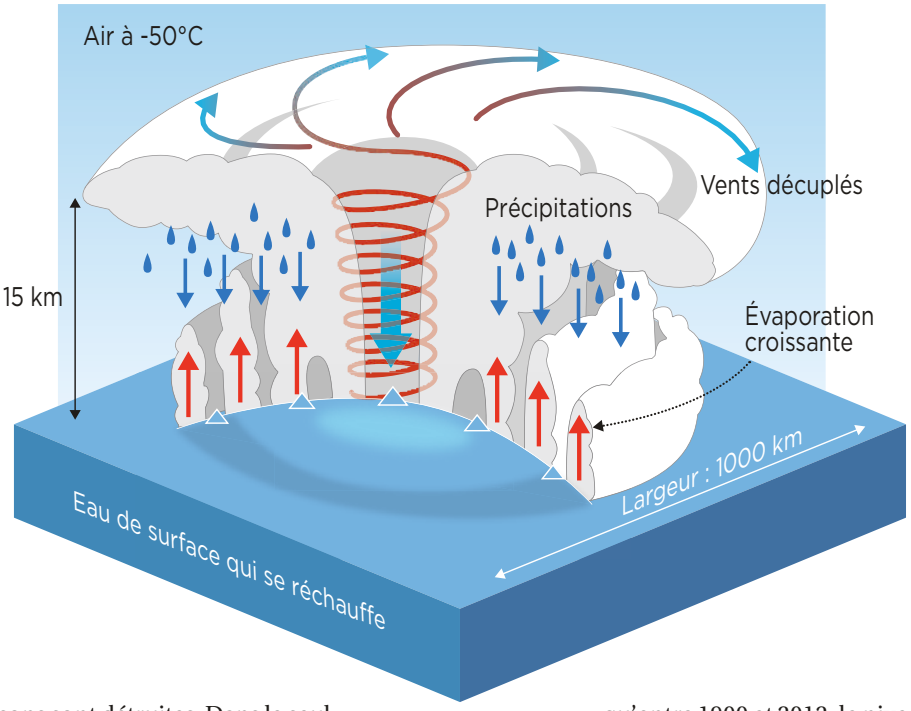
Pour prouver ce lien, les chercheurs ont étudié la partie centrale du territoire français et en particulier les vignobles et vergers de la vallée de la Loire, du sud de la Champagne et de la Bourgogne. La comparaison des dates de débourrement fournies par quatre modèles intégrant ou non l'influence humaine révèle que le risque qu'un gel tardif coïncide avec une période d'éclosion des bourgeons a déjà augmenté de 60 % avec l'augmentation actuelle des températures de 1,2 °C. Cette fréquence sera encore supérieure de 40 % dans un monde à 2 °C qui pourrait être celui de 2040.

6 Les tempêtes seront toujours plus dévastatrices

Entre le 29 et le 31 octobre 2012, l'ouragan Sandy frappe la ville de New York et l'État voisin du New Jersey. Des milliers de maisons sont détruites. Dans le seul État de New York, 53 personnes perdent la vie. Le bilan global des dommages s'élève à 50 milliards d'euros. Une équipe de climatologues américains a réussi à calculer la part des destructions de biens imputables au réchauffement climatique. Celle-ci représente plus de 6,5 milliards d'euros soit 13 % de l'addition finale.

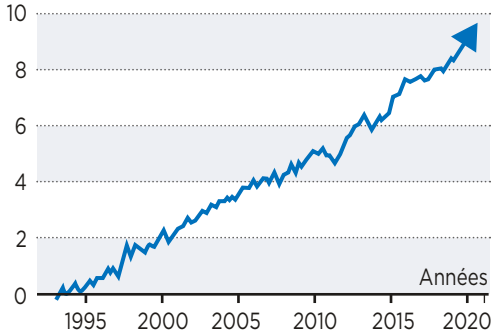
Comment ont-ils procédé ? Les chercheurs ont d'abord calculé qu'entre 1900 et 2012, le niveau de la zone maritime baignant le nord des États-Unis a augmenté de 8,9 cm uniquement par la hausse des teneurs en gaz à effet de serre d'origine humaine dans l'atmosphère. Ils ont ensuite construit un modèle hydrodynamique qui leur a permis de reconstituer la submersion des quartiers. Et ils ont comparé ce qu'aurait envahi la mer d'avant le changement climatique à ce qui est réellement advenu en octobre 2012. Les chercheurs américains affirment ainsi que 70 000 habitations n'auraient pas été submergées sans l'apport des gaz à effet de serre d'origine humaine. Un constat inquiétant car selon le Giec, si le nombre d'ouragans annuels ne devrait pas augmenter, leur force, en revanche, pourrait être décuplée du fait de la hausse de la température de surface des océans qui constitue leur carburant. ■ **L. C.**

Des ouragans toujours plus puissants



La force des ouragans devrait être décuplée à l'avenir du fait de la hausse de la température de surface des océans qui provoque davantage d'évaporation.

Évolution du niveau moyen des mers du globe depuis 1993 (en cm)



ENTRETIEN

MATHILDE PASCAL
ÉPIDÉMIOLOGISTE, CHARGÉE DE PROJET CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SANTÉ À SANTÉ PUBLIQUE FRANCE

« La santé est la raison ultime de lutter contre le réchauffement »

C'est inédit dans l'édition scientifique : en septembre, 19 rédacteurs en chef des plus prestigieuses revues scientifiques médicales au monde ont signé un éditorial commun pour rappeler que l'urgence climatique est aussi, et peut-être avant tout, une urgence de santé publique mondiale.

Que retenir de cet appel ?
Que la raison ultime de tous les efforts attendus pour lutter contre le réchauffement, c'est la santé, voire la survie. La santé publique est un thème qui peine à émerger dans le champ du changement climatique. Là, il faut espérer que le nombre et le prestige des signataires conduisent à une prise de conscience, c'est un texte important.

Les conséquences sur la santé sont-elles déjà mesurables ?
Oui, et de façon de plus en plus précise. L'exemple le plus frappant en France, c'est la mortalité liée à la multiplication des vagues de chaleur. On compte 39 000 décès depuis 1970. La canicule de 2003 (près de 20 000 morts) peut être placée un peu à part pour sa durée et son intensité exceptionnelles. Mais depuis 2004, il y a eu presque 10 000 morts, dont 80 % lors des cinq dernières années. Alors même que c'est après 2003, justement, que beaucoup a été fait pour sensibiliser aux risques, protéger les plus vulnérables, etc.

Et dans le monde ?
Entre 1990 et 2018, environ 37 % des décès dus à la chaleur sont déjà attribuables au réchauffement climatique. C'est ce qu'a montré une vaste étude publiée en juin dans *Nature Climate Change*. Ce qui se traduit par environ 100 000 morts par an. À quoi s'ajoutent les effets indirects plus difficiles à quantifier.

Quels sont les autres effets sanitaires du changement climatique ?
La pollution de l'air est responsable à elle seule d'environ 7 millions de morts prématurées par an dans le monde selon l'Organisation mondiale de la santé. Mais tous les types d'événements climatiques extrêmes (inondations, cyclones, incendies, etc.) ont des impacts de différentes natures : victimes, blessés, interruption d'accès aux soins ou à l'eau potable… En septembre, une grande étude dans *The Lancet Planetary Health* a modélisé la diffusion, au gré des vents, des panaches d'incendies et mesuré comment ils augmentent la pollution et l'impact sur la santé. Le phénomène a été suivi sur quinze ans dans 700 villes et les chercheurs ont conclu à 30 000 décès par an.

> “Depuis 2004, il y a eu presque 10 000 morts en France, dont 80 % ces cinq dernières années, liées aux vagues de chaleur”

Comment réagir ?
On ne peut limiter l'exposition au réchauffement climatique qu'en s'attaquant à ses causes. Et plus concrètement pour la santé publique, développer nos capacités d'adaptation et d'atténuation. Au niveau de l'environnement urbain, il s'agit par exemple de réduire les îlots de chaleur en adaptant les infrastructures et d'accompagner des personnes vulnérables. ■

Propos recueillis par Hugo Jalinière

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

Ce qui menace vraiment la France

Chaque année apporte son lot de catastrophes naturelles avec des dégâts humains et matériels considérables. « Sciences et Avenir » publie des cartes de France saisissantes qui révèlent où les inondations et les sécheresses frappent et frapperont le plus.

Où ne fait-il pas bon vivre en France ? Quand on s'apprête à céder aux charmes d'une région pour la beauté de ses paysages ou la richesse de sa gastronomie, il faut aussi se rappeler que l'Hexagone regorge — hélas ! — d'endroits où les désastres sont récurrents. Il n'y a pas d'année sans que le littoral méditerranéen subisse des épisodes cévenols, où les pluies ravagent des villages entiers. La façade atlantique se révèle fragile devant la montée du niveau des mers qui érode ses côtes et favorise les submersions marines. Une grande partie du territoire souffre de la sécheresse des sols qui fragilise les bâtiments. Dans son bilan des quarante dernières années, l'organisme public qui garantit la couverture financière des assureurs, la Caisse centrale de réassurance (CCR), n'a pas répertorié une année sans catastrophe naturelle en France et dans les départements d'outre-mer ! Ces événements hors normes ont coûté 40,7 milliards d'euros à la collectivité depuis la création du régime en 1982. Et la situation ne va pas s'arranger !

Récepteur final de toutes les demandes d'indemnisations, l'organisme a produit des cartes inédites des sinistres intervenus depuis quatre décennies. Inondations et sécheresses (hors calamités agricoles) représentent 90 % des catastrophes naturelles subies par la population. *« La recension des inondations met en évidence la vallée de la Garonne, le pourtour méditerranéen, l'axe rhodanien, tandis que le littoral atlantique a été frappé par des submersions marines à la suite notamment de la tempête Xynthia en 2010 »*, commente Antoine Quantin, directeur des réassurances et des fonds publics à la CCR. Aujourd'hui, ce ne sont pas moins de 17 millions de Français qui sont exposés au risque d'inondations qui coûtent aux assureurs plus d'un milliard d'euros par an.

CCR

« La recension des inondations met en évidence la vallée de la Garonne, le pourtour méditerranéen et l'axe rhodanien »

Antoine Quantin, directeur des réassurances et des fonds publics à la CCR

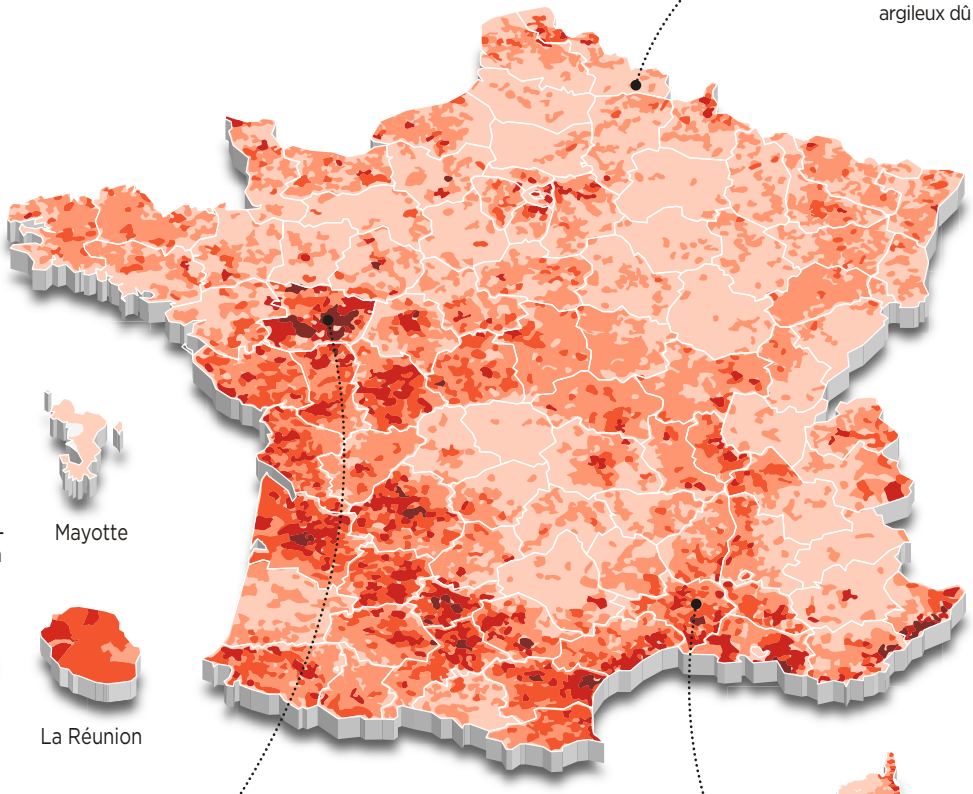
Pour lutter contre les crues, des programmes d'action de prévention des inondations (Papi) ont été lancés en 2002. Ce sont eux qui portent, à l'échelle locale, les projets de réduction des risques : digues de protection, compensation des zones imperméabilisées par la création de fossés et de zones naturelles tampons, ouvrages de rétention des eaux. Par exemple, le projet de la Bassée commencé en 2021 *(lire notre reportage dans* S. et A. *n° 891)* : des « bassines » de plusieurs millions de mètres cubes de retenue des eaux dans la basse vallée de la Seine permettront, à terme, d'écrêter les crues de 40 cm à Paris. Ces programmes incluent également les documents qui découpent les territoires des communes en zones sans risques, zones à risques constructibles sous conditions et zones inconstructibles, ainsi que les plans communaux qui organisent les systèmes d'alerte aux populations. Bien qu'ils aient bénéficié de 2 milliards d'euros au cours de la dernière décennie, ces programmes ne touchent encore aujourd'hui que 40 % de la popu-

La carte des zones les plus touchées

Cette carte synthétise le nombre de sinistres intervenus depuis quatre décennies, dessinant ainsi les zones à risques. Inondations et sécheresses (hors calamités agricoles) représentent 90 % des catastrophes naturelles subies par la population.

FLORENT MOREAU/LA VOIX DU NORD/MAXPPP

À Maroilles (Nord), des maisons se sont fissurées en raison du retrait du sous-sol argileux dû à la sécheresse de 2018.



Saint-Martin

Saint-Barthélemy

Guadeloupe

Martinique

Saint-Pierre-et-Miquelon

Mayotte

Guyane

La Réunion

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : CAISSE CENTRALE DE RÉASSURANCE (CCR)

Nombre de reconnaissances de catastrophes naturelles par commune pour la période 1982-2020

- ≤ 2
- 2 à 5
- 5 à 10
- 10 à 15
- > 15

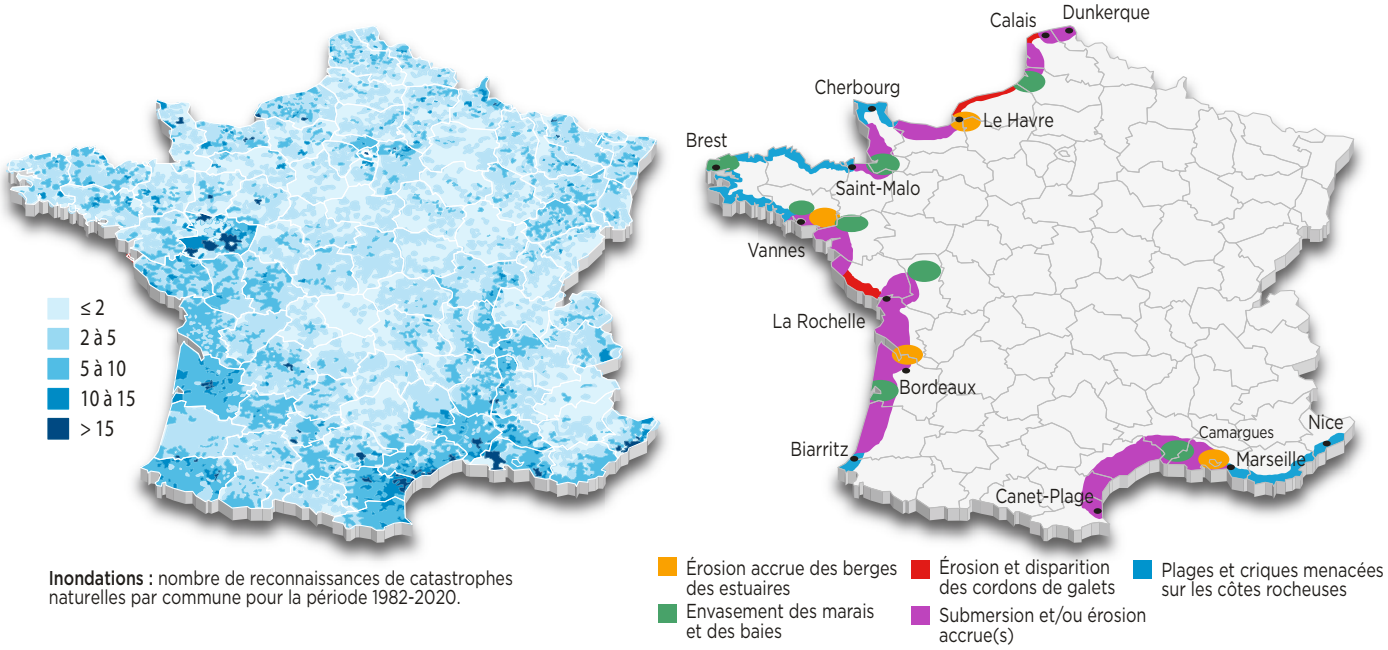
LOIC VENANCE / AFP

La Loire asséchée, à Montjean-sur-Loire (Maine-et-Loire), en juillet 2019. Une situation due à une absence de pluies au cours des mois précédents.

VIVIANE DALLES / DIVERGENCE

Le village de Valleraugue (Gard) dévasté après un épisode cévenol d'une rare intensité en septembre 2020.

Submersions : un littoral de plus en plus vulnérable



Inondations : nombre de reconnaissances de catastrophes naturelles par commune pour la période 1982-2020.

Risque submersion. Le nombre de catastrophes naturelles dues à des inondations (à gauche) et à des submersions marines (à droite) pourrait augmenter et leur coût croître de 38 % à l'horizon 2050.

lation sous la menace d'une inondation et 60 % de celle pouvant subir une submersion marine. Pourtant, cette approche est efficace selon la CCR : les communes qui se sont dotées d'un programme d'action et d'un découpage du territoire ont vu leur nombre de sinistres baisser de 51 % avec un taux de destruction diminué de 53 % et des pertes financières de 28 %. Quant aux recommandations faites à la population (rester chez soi, ne pas se déplacer en voiture, laisser les enfants à l'école, etc.) diffusées dans les médias ou par les services municipaux, elles permettent toujours plus de réduire le nombre de victimes.

Qu'en est-il maintenant des sécheresses ? *« La carte des sinistres suit, cette fois, les territoires de France où le gonflement et la rétractation de l'argile provoquent des désordres dans les structures des bâtiments »*, détaille Antoine Quantin. Sournois, imprévisible, peu médiatique, ce phénomène de mouvement des sols est à l'origine de pas moins de 37 % du milliard d'euros de biens détruits tous les ans. Explication : les fondations des maisons et bâtiments sont tordues par les mouvements de l'argile quand elle sèche et se rétracte. Le phénomène est apparu dans le sud-ouest de la France dans les années 1980. Il a connu une accalmie entre la canicule de 2003 et 2015 mais depuis, cinq années de sécheresses consécutives ont multiplié le nombre de victimes. Des bâtiments qui jusque-là avaient résisté aux mouvements de terrain finissent par céder et tout un grand quart nord de la France est désormais touché alors qu'il en était resté indemne jusqu'à la fin des années 2010. 75 départements sont aujourd'hui concernés. En accentuant la durée et l'intensité des sécheresses, le changement climatique menace l'ensemble des bâtiments et logements construits sur ces sols. Les assu-

Pas moins de 17 millions de Français sont aujourd'hui exposés au risque d'inondations qui coûtent aux assureurs plus d'un milliard par an

BRUNO BOURGEOIS - SOURCES : CCR - ONERA - BRGM

Festival des idées Paris

6e édition

réparer le futur

Conférences, ateliers,
rencontres, tables rondes

18 – 20 nov. 2021

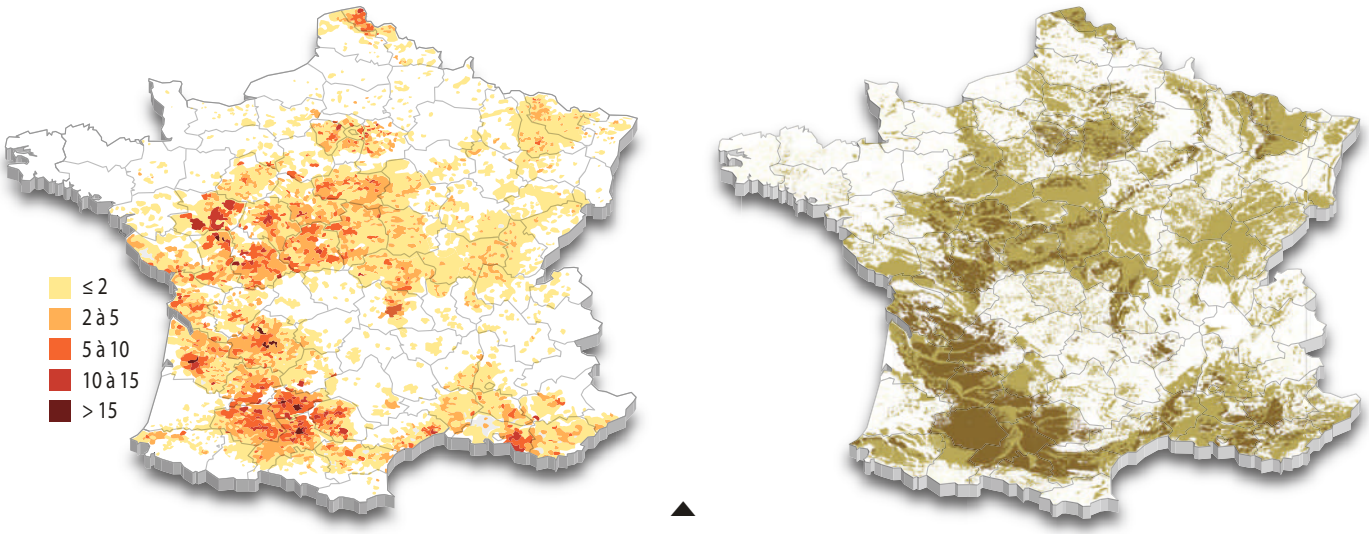
Gratuit — Programme & réservations sur
www.festivaldesidees.paris

festivaldesidees
FdiParis
Festivaldesidees

ASPC Alliance Sorbonne Paris Cité

Conception graphique : trafik.fr

Sécheresse : danger à venir en sous-sol



Sécheresse. Le nombre de reconnaissances de catastrophes naturelles par commune pour la période 1982-2019.

Le risque argile. La carte de France des sinistres dus à la sécheresse (à gauche) suit les territoires où le gonflement et la rétractation de l'argile provoquent des désordres dans les structures des bâtiments (à droite). Près de 80 départements sont et seront concernés.

BRUNO BOURGEOIS - SOURCE : BRGM

reurs estiment que d'ores et déjà 650 000 maisons individuelles en France ont connu des désordres importants pouvant aller jusqu'à la destruction du bâtiment.
Il n'y a hélas pas grand-chose à faire pour les bâtiments déjà construits. Bon nombre d'entre eux n'ont pas les fondations assez solides pour résister. L'adjonction de micropieux peut corriger les désordres mais le coût de cette technique excède souvent le prix de la maison. Le centre d'études et d'expertise sur les risques (Cerema) a mis au point en 2019 une technique douce qui semble prometteuse, la Maison confortée par humidification (Mach). Elle consiste à humidifier les sols en permanence avec de l'eau de pluie collectée avant la sécheresse à travers des points d'injection répartis autour des façades fissurées. Une expérience est menée depuis 2016 sur une maison de 1968 située à Mer (Loir-et-Cher) qui se dégrade depuis la sécheresse de 2015. Les premiers résultats sont encourageants, mais il faudra encore quelques saisons avant de conclure.

De nouvelles règles imposées aux constructeurs

Pour les maisons neuves, le secteur de la construction doit désormais obéir à de nouvelles règles. Il n'existe pas de zones inconstructibles comme pour les inondations mais des plans de prévention des risques de sécheresse spécifiques qui définissent des zones où le constructeur doit prendre des précautions sous peine d'être jugé responsable des atteintes au bâtiment. Le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) impose ainsi que les fondations soient d'une pro-

POPULATIONS

Les vertus des systèmes d'alerte

On déplorait 170 décès par jour dans les années 1970 du fait de catastrophes naturelles au niveau mondial. Ce lourd tribut a été réduit à 40 morts lors de la décennie 2010. Comment ? Essentiellement grâce aux systèmes d'alerte météo qui permettent de prévenir du risque encouru. Mais l'Organisation météorologique mondiale pressent qu'avec l'augmentation des événements extrêmes, cette tendance favorable va s'inverser. *« De plus en plus de vies sont sauvées grâce aux systèmes d'alerte précoce, mais il n'empêche que le nombre de personnes exposées aux risques de catastrophe ne cesse d'augmenter en raison de la croissance démographique dans les zones à risque, et également du fait de l'augmentation de l'intensité et de la fréquence des phénomènes météorologiques »*, a déclaré Mami Mizutori, responsable du bureau des Nations unies pour la réduction des risques de catastrophes lors de la présentation du rapport sur le bilan des catastrophes naturelles depuis 1980. Sont concernés au premier chef les pays en voie de développement qui ne peuvent investir dans des infrastructures de protection.

MANCHETTE-TARDI L'INTÉGRALE

39€

4 récits de Jean Patrick Manchette adaptés en bande dessinée par Tardi

Le premier, *Griffu*, publié il y a presque 40 ans, fut le fruit d'une collaboration entre les deux auteurs. Après la mort de Manchette, Tardi adaptera seul trois des romans phares de l'écrivain : Le Petit bleu de la côte ouest, La position du tireur couché, Ô dingos, Ô châteaux !
Cette intégrale exceptionnelle qui regroupe pour la première fois ces 4 ouvrages est complétée par les planches inédites de *Fatale* et de *Nada* que Tardi avait commencé à adapter.

Livre cartonné – 360 pages en noir et blanc – Format : 220 x 295 mm.

© Casterman pour Griffu, 1996
© Futuropolis pour Le Petit bleu de la côte Ouest, 2008, La Position du tireur couché, 2010 et Ô Dingos, Ô châteaux !, 2011

BON DE COMMANDE

À retourner accompagné de votre réglement à L'Obs
67/69 av. Pierre Mendès-France - CS 51402 - 75647 PARIS Cedex 13 - 01 40 26 86 18

19189

Produit	Référence	Quantité	Prix	Total
MANCHETTE-TARDI	180		39€	
Participation au frais d'envoi en Colissimo				0,50€
Total de ma commande				€

☐ Je règle par chèque bancaire à l'ordre de *L'Obs*

ADRESSE DE LIVRAISON

Mr ☐ Mme ☐

Nom : .....

Prénom : .....

Rés./bat./esc. : .....

Rue : .....

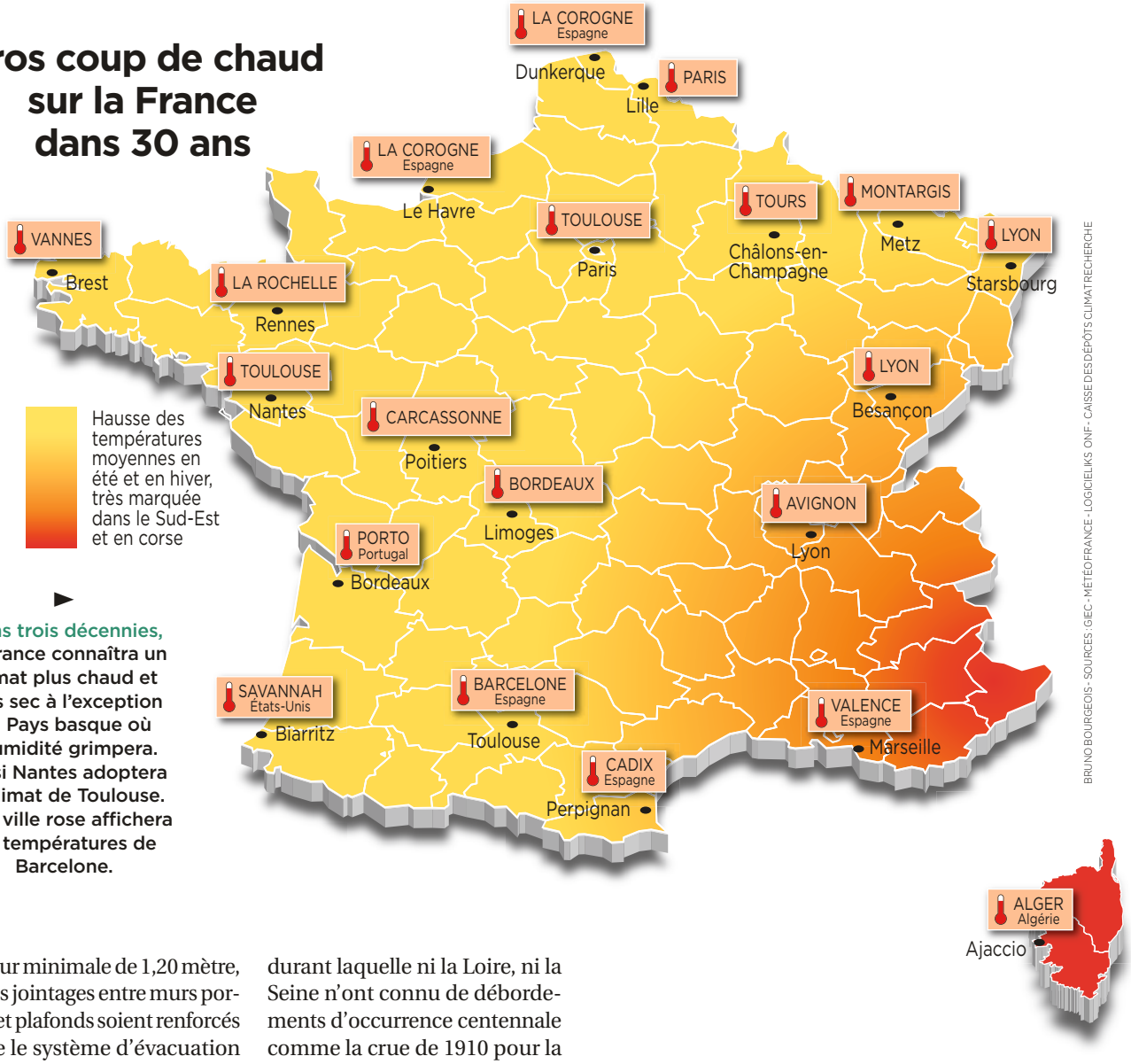
.....

Code postal : |_|_|_|_|_|

Ville : .....

Offre valable en France métropolitaine. * Livraison 2 semaines maximum après réception de votre commande. En retournant ce formulaire, vous acceptez que L'Obs, responsable de traitement, utilise vos données personnelles pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions marketing sur ses produits et services. Pour connaître les modalités de traitement de vos données ainsi que les droits dont vous disposez (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http/www.nouvelobs.com/donnees-personnelles.php ou écrivez à notre Délégué à la protection des données – 67/69 av. Pierre Mendès France, 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr

Gros coup de chaud sur la France dans 30 ans



Dans trois décennies, la France connaîtra un climat plus chaud et plus sec à l'exception du Pays basque où l'humidité grimpera. Ainsi Nantes adoptera le climat de Toulouse. Et la ville rose affichera les températures de Barcelone.

fondeur minimale de 1,20 mètre, que les jointages entre murs porteurs et plafonds soient renforcés et que le système d'évacuation des eaux usées, comme celui des pluies, soit totalement étanche pour éviter un gonflement artificiel des argiles près des maisons. Difficile de dire si le changement climatique a déjà sa part dans la survenue des inondations et sécheresses qui ont conduit à ces désordres. D'autant que les variations annuelles masquent une possible tendance à la hausse des événements exceptionnels. Sans oublier que le recul de quarante ans dont dispose le CCR couvre une période durant laquelle ni la Loire, ni la Seine n'ont connu de débordements d'occurrence centennale comme la crue de 1910 pour la Seine. « *Les événements peuvent être plus intenses mais ils ne sont pas forcément plus destructeurs grâce à des mesures de prévention* », conclut Antoine Quantin. Pour le moment. Car le climat de la France change.

En collaboration avec Météo France, la CCR s'est essayée à évaluer l'impact du changement climatique sur les dommages assurés en 2050. Selon cette modélisation, on peut s'attendre du seul fait du climat à une hausse de 23 % des coûts résultant des sécheresses, de 38 % pour les inondations, de 82 % pour les submersions marines dans l'hypothèse d'une élévation du niveau de la mer de 23 cm prévue dans un scénario où les émissions mondiales de gaz à effet de serre suivraient leur croissance actuelle. Tout confondu, la France devra affronter 50 % de catastrophes naturelles en plus dans trois décennies. De quoi bien réfléchir avant de choisir son petit coin de paradis. ■ **L. C.**

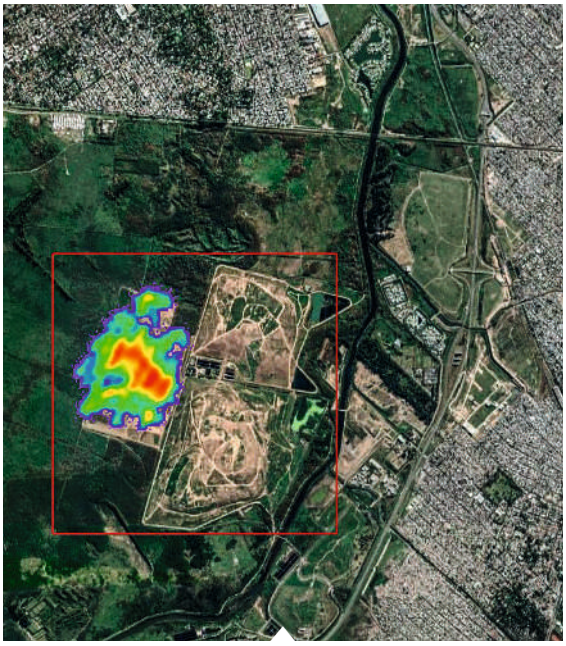
Les enjeux du sommet de la COP26

La réunion des États à Glasgow, en novembre, doit mettre en œuvre l'accord de Paris et tenter d'aboutir à des résultats concrets sur quatre thématiques clés.

Du 1er au 12 novembre, les États de l'Onu se réunissent pour la 26e fois depuis l'adoption de la convention sur le climat en 1992. Un sommet crucial car c'est à partir de cette fin d'année que doit entrer en action l'accord de Paris de 2015. Ce traité international juridiquement contraignant a pour objectif de *« limiter le réchauffement climatique à un niveau bien inférieur à 2 °C, de préférence à 1,5 °C, par rapport au niveau préindustriel.* » Mais la feuille de route pour y parvenir reste à écrire… Voici les 4 points clés pour que ce sommet crucial soit couronné de succès.

1 Les États doivent s'engager

À Glasgow (Royaume-Uni), les États doivent officialiser leurs objectifs de réduction des gaz à effet de serre. Problème : les engagements déjà connus ne sont pas à la hauteur des enjeux. La température de la planète est sur une tendance d'augmentation de 2,7 °C à la fin du siècle. Les émissions de gaz à effet de serre seront en hausse de 16 % d'ici à 2030 alors qu'elles devraient baisser dès cette année pour éviter de dépasser 1,5 °C. Cependant, la Chine, l'Inde, l'Arabie saoudite et la Turquie (soit 33 % des émissions mondiales) n'ont toujours pas remis de plans actualisés. Seul le Royaume-Uni affiche un objectif compatible avec l'accord de Paris, avec une cible de diminution de 68 % des émissions d'ici à 2030.



GHGSAT

Les émissions de méthane peuvent désormais être identifiées par satellite (ici vue d'une décharge à Buenos Aires, Argentine, le rouge indiquant les émissions les plus intenses).

2 Le marché carbone doit se mettre en place

L'accord de Paris prévoit que les États s'accordent sur un marché mondial du carbone. Il permettra à ceux qui dépassent leurs objectifs de réduction des émissions d'acheter des tonnes de CO_2 non émises par les pays les plus vertueux. Un mécanisme similaire s'appliquerait aux entreprises mais aussi aux ONG, aux acteurs de la compensation carbone, aux forestiers et aux agriculteurs stockant du carbone. Il deviendra ainsi possible de payer pour atteindre ses objectifs en finançant des projets de réduction des émissions. Mais les obstacles restent nombreux : transparence du système, comptage des émissions, mesure des volumes stockés ou non émis…

3 Un fonds de 100 milliards de dollars doit être constitué

Les États développés, responsables historiques de la pollution atmosphérique, doivent verser tous les ans 100 milliards de dollars aux pays en voie de développement pour les aider à s'adapter au changement climatique. Au dernier pointage effectué par l'OCDE, 78,9 milliards sont effectivement débloqués. À Glasgow, il faudra boucher le trou.

4 Un plan méthane doit être lancé

La lutte contre les émissions de méthane, deuxième gaz à effet de serre en volume derrière le CO_2, permettrait d'éviter une augmentation de 0,3 °C des températures mondiales *(lire* S. et A. *n° 896)*. Le Royaume-Uni, pays organisateur de la COP26, promet son démarrage à Glasgow. Mais à ce jour, 13 pays seulement ont mis en place un plan de lutte. Il s'agira d'étendre la démarche à l'ensemble de la communauté internationale et de partager les meilleures techniques de réduction. ■ **L. C.** Loic_Chauveau

L'intelligence artificielle joue les artistes

Avec leurs capacités à déduire, reproduire et générer des contenus, les réseaux de neurones artificiels prennent le relais des créateurs pour achever leurs œuvres « post mortem ». Ou pour en reconstituer des fragments perdus. Exemples en peinture, musique et sculpture.

Par Arnaud Devillard @A_Devila

C'est le 9 octobre à Bonn (Allemagne), au Telekom Forum, qu'un concert a célébré les 250 ans de la naissance de Ludwig van Beethoven (1770-1827). Pour l'occasion, et avec un an de retard pour cause de pandémie, le chef d'orchestre Dirk Kaftan a dirigé une interprétation très attendue de la 10e symphonie du compositeur allemand. Sauf que cette œuvre n'a jamais existé. En effet, Beethoven est mort en ne laissant que des fragments épars, des idées préparatoires. En 1988, le musicologue britannique Barry Cooper était déjà parvenu à « reconstruire » un premier mouvement de 14 minutes, joué au Royal Albert Hall de Londres. Cette fois, la partition a été écrite avec une intelligence artificielle (IA), Beethoven AI.

Le projet remonte à deux ans. À l'initiative de Matthias Röder, directeur de l'institut Karajan à Salzbourg (Autriche), il rassemble musiciens, musicologues, experts de Beethoven et informaticiens. Un véritable défi. L'IA doit pouvoir comprendre le style de Beethoven, extrapoler à partir de fragments, savoir lier différentes parties mais aussi maîtriser diverses formes musicales figurant dans une symphonie (scherzo, menuet), apprendre à conclure un mouvement et à orchestrer le tout. *« Chacune de ces tâches nécessite un modèle différent. La plupart sont des algorithmes d'apprentissage profond* [deep learning] *de traitement du langage naturel modifiés pour générer des notes de musique »*, explique Ahmed Elgammal, chercheur en informatique à l'université Rutgers (États-Unis) et spécialisé dans les IA à vocation artistique *(lire* S. et A. *n° 858)*. L'équipe a commencé par constituer une base d'entraînement avec des œuvres de Beethoven, mais aussi quantité d'autres qui leur étaient contemporaines où les ont précédées. L'IA les a ensuite

► **« La Ronde de nuit » de Rembrandt**. Quelque 70 ans après sa création en 1642, le tableau avait été déménagé et découpé aux ciseaux pour tenir dans son nouvel emplacement. À partir d'une copie représentant l'entièreté de la toile et de l'original amputé (ici exposé au Rijksmuseum d'Amsterdam, aux Pays-Bas au cours de l'été dernier), des algorithmes ont reconstitué les fragments manquants qui ont été rajoutés à l'original.

RIJKSMUSEUM AMSTERDAM

adaptées dans le style du maître afin de comprendre comment il composait. Après quoi les algorithmes ont pu commencer à produire de la musique à partir des fragments de la 10e symphonie. D'abord sous forme de simple ligne mélodique puis sous forme orchestrale, sur partition. *« C'est un processus itératif,* insiste Ahmed Elgammal. *Nous n'avions pas de machine capable de générer d'emblée une symphonie. L'IA a été continuellement entraînée.* » L'équipe a sélectionné, retravaillé, testé, réorienté les extraits sonores issus des algorithmes. Certains se sont avérés trop modernes, injouables, ou inécoutables. D'autres inattendus, comme un passage d'orgue que l'équipe a gardé, y voyant une manière d'évoquer les tourments du musicien. Coïncidence,

début septembre, à Lausanne et à Genève, l'orchestre suisse Nexus a joué une autre version de la 10e symphonie sur des partitions également écrites par une IA. Mais selon une approche un peu différente. La technologie mise au point par le chercheur de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) Florian Colombo a, elle, été entraînée sur les quatuors de Beethoven pour créer les partitions de tous les instruments de la symphonie, sans intervention *a posteriori*. « *Ce qui a été proposé pour le concert est le résultat des calculs de mon algorithme uniquement* », indique le chercheur.

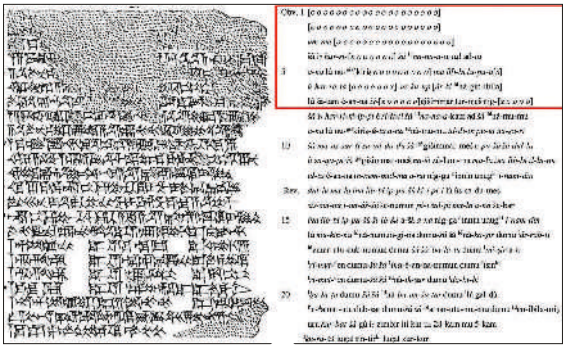
Les facultés de prédiction de l'IA sont exploitées

À mi-chemin entre création et recréation, ces projets mettent en lumière un usage très particulier de l'intelligence artificielle : aider à reconstruire des éléments disparus ou endommagés. Sur le principe, ce sont les facultés de prédiction de ces technologies qui sont exploitées. À savoir qu'en fonction d'un contenu existant, des algorithmes peuvent calculer la probabilité qu'un élément puisse y être ajouté en étant cohérent avec le reste. Mais il n'existe pas de solution figée, tout découle de certains choix initiaux : « *Je peux forcer un instrument à jouer tel ou tel fragment* [de la 10e symphonie de Beethoven] *et les autres se construiront autour,* explique Florian Colombo. *Le résultat final va dépendre de l'instrument par lequel on commence.* »

La musique est loin d'être le seul domaine concerné. Cet été, l'intelligence artificielle a permis au Rijksmuseum d'Amsterdam (Pays-Bas) de présenter *La Ronde de nuit*, le célèbre tableau de Rembrandt (1606-1669), complété de ses fragments disparus depuis 300 ans. Datée de 1642, la toile avait en effet été déplacée en 1715 à l'hôtel de ville de l'époque (aujourd'hui le palais royal). Pour tenir entre deux portes, elle a été découpée sur ses quatre côtés, perdant pas moins de 60 cm à gauche et 22 cm en haut. Dans le cadre d'un vaste chantier de restauration, le Rijksmuseum s'est servi d'une copie de *La Ronde de nuit* exécutée par le peintre Gerrit Lundens (1622-1686) avant que l'œuvre ne soit amputée. Problème : elle mesure à peine un demi-mètre carré contre 16 m² pour le chef-d'œuvre de Rembrandt.

FABRICE COFFRINI / AFP

La partition inachevée de la 10e symphonie de Beethoven a été prolongée par l'algorithme du chercheur suisse Florian Colombo.



E. FETAYA ET AL.

L'identification de mots illisibles sur des tablettes d'argile babyloniennes a été possible grâce au « deep learning ».

ARCHAEOLOGICAL PARK OF POMPEII

Un bras robotisé est entraîné à assembler les images d'un puzzle. Une technologie utilisée pour reconstituer des fresques mises au jour à Pompéi.

Un algorithme « envoyé à l'école des beaux-arts »

Le chercheur néerlandais Robert Erdmann a alors travaillé sur les copies numérisées des deux tableaux avec pas moins de trois algorithmes. Un premier a établi la « correspondance sémantique » entre les deux peintures : il a identifié tous les éléments communs (personnages, visages, etc.). Le deuxième a permis de mettre le tableau de Lundens aux mêmes dimensions que celui de Rembrandt, en modifiant les volumes, les perspectives, en étirant des formes, de manière à pouvoir superposer parfaitement les deux images. À partir de là, le troisième algorithme a été « *envoyé à l'école des beaux-arts* » pour reprendre une formule de Robert Erdmann. À savoir qu'il s'est servi des données issues de nombreuses analyses menées sur *La Ronde de nuit* version Rembrandt (photos, rayons X, scan 3D, ultraviolet) pour apprendre à peindre comme l'artiste. Ainsi, en prenant pour modèle la copie de Lundens, l'algorithme a pu générer informatiquement les parties disparues de la toile dans un style imitant celui de Rembrandt. Ces fragments ont été imprimés et soigneusement accolés au tableau. Attention cependant : rien ne dit qu'ils sont parfaitement identiques à ceux de 1642. Simplement, l'IA en a fourni la version la plus probable.

BRENT SEALES PROFESSEUR EN SCIENCE INFORMATIQUE À L'UNIVERSITÉ DU KENTUCKY (ÉTATS-UNIS)

« Il ne faut pas confondre ce qui est réel et ce qui a été déduit »

BRENT SEALES

« Les approches par intelligence artificielle et apprentissage automatique pour déduire des éléments manquants sont utiles. Mais il ne s'agit pas de reconstructions rigoureuses. Ces méthodes ont leur place mais ne peuvent fournir que les meilleures approximations possibles de ce qui a été perdu. Il faut rester prudents et ne pas confondre ce qui est réel et ce qui a été déduit et interpolé. Notamment quand il s'agit de textes, où des mots manquants peuvent mener à des interprétations ambiguës. De toute façon, on ne saura jamais à quoi ressemblait exactement quelque objet que ce soit, pour la simple raison que c'est ainsi que fonctionne le monde, les choses sont altérées dès le moment où elles sont créées : les couleurs s'effacent, des éléments se cassent, etc. Ce qui n'empêche pas d'obtenir de très bonnes approximations. De tels recours à l'IA ne sont pas toujours bien acceptés [dans le monde académique]. Tout dépend des applications et des conclusions auxquelles cela mène. Beaucoup de gens se méfient d'une technologie qui reste difficile à comprendre et qui, souvent, ne permet pas de savoir comment elle en arrive à ses résultats. Des chercheurs travaillent sur cet aspect mais créer des systèmes d'IA transparents sur la manière dont ils fonctionnent, de même que sur les forces et les faiblesses de leurs résultats, reste un vrai défi." ■ **Propos recueillis par A. D.**

De la même manière, en 2020, une équipe israélienne a testé un réseau de neurones sur des textes babyloniens gravés sur des tablettes d'argile érodées ou cassées. Après avoir entraîné l'algorithme sur un jeu de phrases complètes, les chercheurs l'ont soumis à un quiz constitué de 52 autres phrases avec des mots manquants. Parmi quatre réponses possibles, l'algorithme a proposé la bonne dans 88,5 % des cas. Une performance si bonne qu'elle a même surpris les chercheurs ! Ce résultat valide, en tout cas, l'approche, qui va donner lieu à un nouvel entraînement des algorithmes pour les améliorer. Leur application concrète servira à donner des pistes, à gagner du temps mais reste aux experts à exploiter les résultats comme ils l'entendent.

C'est le sens du projet RePAIR, qui a commencé début septembre à Pompéi (Italie). Un bras robotisé doté d'un système de vision par ordinateur travaille à la reconstitution des fresques de la Maison des peintres au travail, endommagées par l'éruption du Vésuve en l'an 79 puis par les bombardements alliés de 1943. Près de 15 000 fragments attendent depuis des années d'être assemblés, à la manière d'un puzzle dont le modèle n'est pas fourni. *« La tâche est tout simplement impossible pour des humains,* résume Marcello Pelillo, chercheur en informatique à l'université Ca'Foscari de Venise et coordinateur du projet. *Cela fait des décennies qu'on essaie et cela avait été quasiment abandonné. »*

La machine fait des suggestions aux chercheurs

Chaque morceau a été scanné en 3D et stocké dans une base de données avec les informations techniques correspondantes (dimensions, structure, couleurs, motifs…). Le bras robotique est connecté à cette base. Avec sa caméra, il va « observer » un fragment, le système va parcourir la base de scans et consulter leurs caractéristiques pour tenter d'identifier quels éléments peuvent être mis ensemble. Le bras, au bout duquel se trouve une main préhensible bardée de capteurs de pression, va jusqu'à manipuler les fragments de fresques. *« Nous ne nous attendons pas à ce que le robot réussisse du premier coup, mais qu'il donne une première information que les experts vont ou non valider »*, prévient Marcello Pelillo. Le travail de la machine se nourrit au fur et à mesure de ces allers-retours.

Selon ses calculs de probabilité, soit le système assemblera d'emblée des pièces, avant d'attendre la réponse des chercheurs, soit il leur fera une suggestion avant toute manipulation. Pour ajouter aux difficultés, il y aura sans doute des fragments manquants, sans que l'on sache encore combien et où. Peut-être une IA saura-t-elle en générer des copies pour compléter les trous. ■

LE + NUMÉRIQUE

Extraits de la 10e symphonie selon Beethoven AI : **sciav.fr/897beethoven**

La 10e symphonie complétée par un chercheur de l'EPFL : **sciav.fr/897symphonie**

Opération Ronde de nuit au Rijksmuseum d'Amsterdam : **sciav.fr/897rondedenuit**

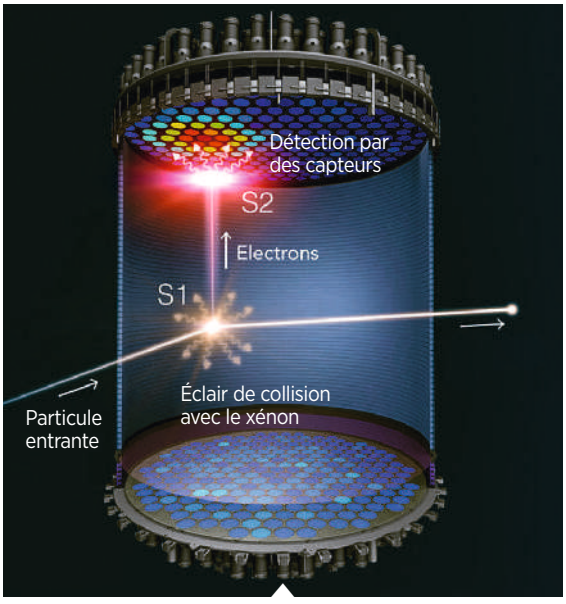
L'IA face à des textes administratifs babyloniens incomplets : **sciav.fr/897babylone**

L'énergie noire a peut-être été détectée

Un groupe de physiciens suggère que cette mystérieuse énergie qui semble dominer l'Univers pourrait avoir été repérée dans le cadre d'une expérience dédiée initialement à la traque de la matière noire.

Le résumé d'un article publié le 15 septembre dans la très sérieuse revue *Physical Review D* n'y va pas par quatre chemins : « *[Nos résultats] soulèvent la possibilité excitante que XENON1T ait pu réaliser la première détection directe de l'énergie noire!* » Il ravive du même coup l'espoir que l'un des plus grands mystères de la cosmologie de ces cinquante dernières années soit sur le point d'être résolu. Ce mystère, celui de l'univers noir (*lire* S. et A. *n° 865)*, peut se résumer très simplement : 95 % de l'Univers demeurent aujourd'hui totalement inconnus. Le cosmos serait constitué d'environ 27 % d'une énigmatique « matière sombre » et d'environ 68 % d'une tout aussi mystérieuse « énergie noire ». À en croire les résultats tout juste publiés, nous aurions peut-être détecté la seconde… en cherchant la première!

C'est à 1500 m de profondeur sous le massif des Abruzzes, en Italie, qu'est installé le détecteur de particules de Gran Sasso. Cet imposant dispositif qui consiste en une cuve remplie de xénon liquide flanquée de capteurs a été conçu pour débusquer la matière noire. En juin 2020, la publication de résultats partiels de l'expérience XENON1T *(lire l'interview p. 56)* avait déjà créé un engouement dans le monde de la physique. Les données révélaient que certains signaux avaient été enregistrés à des fréquences supérieures à celles attendues.



UNIVERSITY AT ALBANY, STATE UNIVERSITY OF NEW YORK

Le principe du détecteur de Gran Sasso (Italie) : si une particule de matière noire traverse le réservoir rempli de xénon liquide, elle doit exciter les atomes, ce qui produira un flash lumineux.

La signature de particules hypothétiques

De tels événements avaient alors été interprétés comme la signature de particules hypothétiques et jusqu'ici insaisissables : les axions solaires. Ces particules élémentaires prédites mais encore jamais observées seraient, comme leur nom l'indique, produites par le Soleil. Si celles-ci ne sont pas directement considérées comme des candidates à la matière noire, d'autres types d'axions, eux, le sont. De sorte que la découverte de l'un d'entre eux constituerait une étape capitale dans l'exploration de cette piste de recherche. Le travail que vient de publier l'équipe de physiciens théoriciens de l'université d'Amsterdam (Pays-Bas), Cambridge

RECHERCHE

Gran Sasso, le plus sensible des détecteurs

Menée à Gran Sasso, en Italie, entre 2016 et 2018, l'expérience XENON1T avait pour but de débusquer la matière noire dans une cuve de 3,2 tonnes de xénon liquide. Il s'agit actuellement du plus grand et plus sensible détecteur dédié à la recherche de la matière sombre. Son principe repose sur l'idée que si une particule de matière noire traverse le réservoir, elle doit exciter les atomes de xénon, ce qui produira un flash de lumière et la formation d'électrons libres, détectables grâce à une série de capteurs ultrasensibles.

ENRICO SACCHETTI, XENON-KOLLABORATION

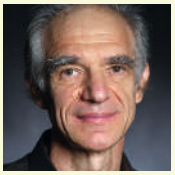
Deux scientifiques assemblent la chambre de projection temporelle, à Gran Sasso. Pour fonctionner, elle sera complètement immergée afin de la protéger de toute radioactivité et maintenue à - 95 °C.

(Royaume-Uni), Hawaï (États-Unis) et Paris-Saclay peut apparaître comme une déception au premier abord. Il s'agit en effet d'une nouvelle interprétation de ces mêmes données qui conclut cette fois que le signal observé ne peut être le fruit d'axions solaires. En substance, les scientifiques ont établi que si le modèle qui mettait en jeu les axions était le bon, alors les étoiles les plus massives produiraient une énorme quantité d'énergie sous la forme de ces axions et auraient, par conséquent, une durée de vie bien inférieure à celle communément admise.

Mais si ce ne sont pas des axions, alors de quoi s'agit-il ? Avec ses collaborateurs, Sunny Vagnozzi, jeune chercheur à l'université de Cambridge et premier auteur de l'article, propose un autre scénario, non moins excitant : l'excès d'événements détectés pourrait plutôt correspondre à des particules porteuses de force, à l'instar de l'énergie noire. Depuis que son existence a été supposée pour la première fois dans les années 1990 (le terme de *dark energy*, que l'on traduit aussi par « énergie sombre », n'est apparu, lui, pour la première fois dans une publication qu'en 1998), l'énergie noire a été décrite d'après de multiples modèles. Il s'agit d'une force répulsive dotée d'une pression négative qui serait à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers.

Une masse qui varie en fonction de l'environnement

Un certain nombre de ces modèles permettent d'expliquer qu'elle ne semble avoir d'effet qu'à très grande échelle. Dans notre modeste système solaire, des particules d'énergie noire devraient en principe modifier la gravité, or il n'en est rien. Pour expliquer cette incohérence, les physiciens ont donc fait des propositions. L'une d'elles consiste à dire que l'énergie noire fonctionne selon un mécanisme dit d'écrantage, ou mécanisme « caméléon », qui permettrait d'annuler les effets de sa force à petite échelle. Les physiciens ont établi que cette idée implique que les particules d'énergie noire voient leur masse varier en fonction de l'environnement qu'elles rencontrent. Une faculté à changer qui existe par exemple chez les photons, les particules de lumière, qui ne peuvent plus pénétrer un matériau lorsque celui-ci devient


Y. APPRIOU / AWEN PHOTO

INTERVIEW

EMILIAN DUDAS
PHYSICIEN AU CENTRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, À PALAISEAU

« L'expérience XENON ouvre une piste qui doit être creusée »

L'abandon de la piste des axions solaires pour la matière noire est-elle une déception ?
Si l'hypothèse était très séduisante, il est vrai que l'on pouvait s'attendre à ce qu'elle ne soit pas confirmée. Dès la publication des premiers résultats en 2020, l'équipe derrière XENON1T avait souligné qu'il existait une tension entre les caractéristiques de ces axions solaires et les contraintes astrophysiques que l'on connaît aujourd'hui. Je pense notamment au fait que ces axions ne pourraient exister sans consommer très — trop — rapidement l'énergie d'étoiles comme les géantes rouges.

Que pensez-vous d'une possible signature d'une particule porteuse de force propre à l'énergie noire ?
Comme mes confrères et consœurs, je ne dispose malheureusement pas assez d'éléments à ce stade pour savoir si cette piste est la bonne. Mais il est vrai que l'existence de particules « caméléons », qui est une proposition parmi d'autres pour expliquer la modification de la gravitation à petite échelle, a le mérite d'éviter beaucoup de déviations des lois gravitationnelles. En cela, elle doit être creusée.

Croyez-vous que l'on puisse un jour réellement savoir ce qu'il s'est produit dans cette cuve ?
Oui. D'abord parce que l'hypothèse d'une particule porteuse de force avancée par ce groupe de physiciens a le mérite de pouvoir être testée expérimentalement. C'est d'ailleurs ce qui en fait une bonne théorie ! Ensuite parce que l'expérience XENON va gagner en précision dans les prochaines années, de sorte que l'on pourra écarter ou valider avec suffisamment de certitude les différents scénarios. ■ **Propos recueillis par M. B.**

supraconducteur. Ainsi, l'énergie noire changerait de masse et de comportement selon qu'elle se trouve dans une zone où la matière est plus ou moins dense. Dans les zones à forte densité, comme sur la Terre, ses particules auraient une masse importante mais une force moindre, qui ne s'exerce que sur une distance minuscule. En revanche, dans l'espace interstellaire où il n'y a pratiquement pas de matière, elles auraient une masse plus faible, mais leur influence s'étendrait bien plus loin. Ce type de commutation expliquerait ainsi pourquoi l'énergie noire ne semble avoir aucune influence au niveau local mais un effet important à l'échelle galactique.

> Si les mécanismes que la théorie lui prête sont observés, alors l'énergie noire aurait de bonnes raisons d'exister

En quoi ces considérations sont-elles importantes lorsqu'il s'agit d'expliquer les résultats étranges enregistrés il y a un an avec XENON1T ? Après avoir écarté la piste des axions, les physiciens ont suggéré que les particules détectées dans la cuve pourraient, elles aussi, être dotées d'un mécanisme d'écrantage, autrement dit de cette capacité à changer en fonction de l'environnement. *« Cela expliquerait que l'on soit en présence dans la cuve de particules massives théoriquement impossibles à créer au cœur du Soleil tant elles requièrent d'énergie »*, explique Philippe Brax, physicien à l'Institut de physique théorique de Paris-Saclay et coauteur de la publication. *« Nous supposons qu'elles ont été produites dans une zone bien spécifique du Soleil — la tachocline, une couche de transition peu dense entre les régions internes du Soleil — plutôt que dans son cœur. Il règne dans la tachocline de forts champs magnétiques susceptibles d'aider la transmutation des photons solaires en particules "caméléon" et de les rendre bien moins énergivores. »*

Une preuve indirecte de son existence

Les scientifiques ont-ils donc réalisé la toute première détection d'une particule d'énergie noire ? *« Non*, admet Philippe Brax. *Mais en démontrant l'existence d'un champ scalaire "caméléon", nous renforcerions l'hypothèse selon laquelle l'énergie noire fonctionne aussi de cette façon. En somme, nous n'avons pas encore observé d'énergie noire, mais potentiellement un même effet de gravité modifiée que celui qu'on confère à l'énergie noire. »* Il s'agirait donc plutôt d'une preuve indirecte de son existence : si les mécanismes que la théorie lui prête sont observés, alors l'énergie noire aurait de bonnes raisons d'exister.

Impossible hélas ! d'en dire plus. Pis, il faudra encore patienter avant d'avoir le fin mot de l'histoire car seule la prochaine version de l'expérience, XENONnT, qui devrait démarrer dans le courant des trois prochaines années, permettra de nous dire ce qu'il s'est réellement passé dans cette cuve. Avec un volume de xénon multiplié par trois, les mystérieuses particules susceptibles de s'exprimer dans le détecteur, plus nombreuses et donc plus visibles, devraient à ce moment-là révéler leur vraie nature. ■

Marine Benoit @marin_eben

DU 14 AU 22 MAI 2022

PARIS ✈ REYKJAVIK
TROMSO ✈ PARIS

Jour	Escales	Arrivée	Départ
14/05	Paris / Reykjavik *(Islande)* ✈	Nuit à quai	
15/05	Reykjavik *(Islande)*	Appareillage 17h00	
16/05	Isafjordur *(Islande)*	08h30	18h00
17/05	Husavik *(Islande)* ⚓	08h30	17h30
18/05	Seydisfjordur *(Islande)*	08h00	12h00
19/05	En mer		
20/05	Rorvik *(Norvège)*	16h00	20h00
21/05	Leknes / Îles Lofoten *(Norvège)* ⚓	13h00	19h00
22/05	Tromso *(Norvège)* / Paris ✈	09h30	-

⚓ À l'ancre - Débarquement en chaloupe si les conditions météorologiques le permettent.

À partir de 2.390 €

par personne en **cabine intérieure, catégorie 2** occupée par **2 personnes.**

(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :

- La croisière à bord du M/s Hamburg en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris - Reykjavik et Tromso-Paris.
- La présence (* sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.
- Des animations de qualité chaque soir variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

ISLANDE, LE FEU, LA GLACE, LES HOMMES

CAROLE CHATELAIN
Directrice de la rédaction de *Sciences et Avenir - La Recherche*

RÊVE DE GLACE. Les noms, à eux seuls, font rêver : Isafjordur, Husavik, Osvor... Et même celui de la capitale, Reykjavik, qui sonne comme une stalactite de glace. Avec l'Islande, mot francisé de l'*Ísland* (terre de glace en islandais), surgissent des images de fjords, de baleines, de geysers. Le pays souffle d'emblée le froid, le chaud et l'envie d'en savoir plus. Cela tombe bien. A bord du Ms. Hamburg, aux côtés d'Yves Coppens, préhistorien-parrain des Croisières du Savoir, embarqueront trois connaisseurs des trésors que recèlent ces lieux. Les fameuses sagas islandaises, que décryptera la docteure en études nordiques Gaëlle Reneteaud. Mais aussi l'océan si froid et si riche en poissons et mammifères marins, sans secret pour Gilles Boeuf, ancien directeur du Museum et ami de Sciences et Avenir. Quant aux volcans sous la glace, le Pr Jacques-Marie Bardintzeff nous en dressera un portrait saisissant. Et nous n'oublierons pas la découverte au retour par la Norvège des îles Lofoten et du ravissant port de Rorvik. Vite, embarquons !

ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE *

YVES COPPENS

Paléontologue, spécialiste mondialement connu de l'évolution humaine, académicien et professeur au Collège de France. Il nous parlera du peuplement des îles que nous allons accoster, de la préhistoire aux moines irlandais et aux Vikings. Dernier ouvrage paru : « *Origines de l'Homme, origines d'un homme* ».

GAËLLE RENETEAUD

Docteur en Etudes Nordiques de l'Université Paris-Sorbonne, spécialiste de l'Islande. Elle nous dira ce que sont les *sagas* et leur place dans la culture islandaise et nous racontera le regard porté sur l'Islande dans la cartographie ancienne et les premiers récits de voyage. Dernier ouvrage paru : « *Le(s) Nord de Xavier Marmier* ».

GILLES BOEUF

Biologiste, spécialiste de la biodiversité marine et terrestre, professeur à Sorbonne-Université. il nous expliquera l'extraordinaire richesse du monde marin, ainsi que l'importance vitale pour l'humanité, mais aussi l'extrême fragilité, de la biodiversité. Dernier ouvrage paru : « *La biodiversité, de l'océan à la cité* ».

JACQUES-MARIE BARDINTZEFF

Volcanologue professeur à l'Université Paris-Sud Orsay. Il nous présentera les volcans d'Islande et leurs éruptions, les geysers et la géothermie, les paysages étonnants. Il nous expliquera comment des volcans prennent naissance au fond des océans puis émergent en îles. Dernier ouvrage paru : « *Volcanologue* ».

Avec

OLIVIER LASCAR

Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir

Pendant la croisière l'œil de Lascar restera ouvert, pertinent et... impertinent !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**

CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET** - **info@plein-cap.com** - Tél. **04 93 20 21 20**

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr

IM006120053

PHYSIQUE

Un Nobel pour apprendre à gérer le désordre

Le prix Nobel de physique a été attribué, pour moitié, à l'Italien Giorgio Parisi pour la découverte de l'interaction entre le désordre et les fluctuations dans les systèmes physiques, de l'échelle atomique à l'échelle planétaire. Décryptage.

Le mardi 5 octobre au soir, les bouchons de champagne ont sauté aussi bien dans les laboratoires de physique de l'université de Rome La Sapienza (Italie), qu'au département de physique de l'École normale supérieure à Paris, ou une cinquantaine de personnes fêtait le prix Nobel attribué à l'Italien Giorgi Parisi, 73 ans. « *Nous avons des liens forts entre nos laboratoires et cela faisait trente ans que, dans la communauté, on se disait qu'il devrait avoir ce prix* », commente Marc Mézard, directeur de l'École normale supérieure et qui a fait son postdoctorat avec le chercheur italien à Rome. Et il ajoute : « *Déjà, lorsqu'il était tout jeune et qu'il arrivait dans une école d'été, on se rendait compte que c'était quelqu'un d'exceptionnel, un génie. Je le place dans la lignée d'Einstein, de Fermi ou de Bohr !* »

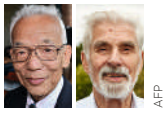
AFP

Giorgio Parisi (Italie), université La Sapienza, Rome.

Pourquoi, alors, a-t-il fallu patienter si longtemps pour qu'il reçoive ce prix ? Peut-être parce que sa découverte fondamentale, sur la compréhension du désordre, est abstraite et délicate à expliquer, mais aussi parce qu'elle a suscité beaucoup de débats techniques sur son applicabilité. Aujourd'hui le débat n'a plus cours. « *Ce qui est surtout impressionnant c'est qu'il a changé le cadre conceptuel pour traiter le désordre et ouvert, dans la foulée, des applications à un tas d'autres problèmes, pas uniquement en physique* », estime Marc Mézard.

Un premier coup de génie aux applications multiples

Le cadre conceptuel dont on parle prend racine dans le problème dit des verres de spins. Sous ce terme, se cache un modèle visant à décrire le comportement des alliages métalliques. Le mot « verre » se réfère au fait que les atomes ne sont pas répartis sur un cristal, mais ont des positions variées dans le matériau — comme dans un verre ordinaire —, et « spin » le fait que chaque atome est porteur d'un petit aimant. Décrire ainsi un



AFP

Les lauréats
(de gauche à droite)
Syukuro Manabe (Japon-États-Unis), université de Princeton (États-Unis)
Klaus Hasselmann (Allemagne), Institut Max Planck de météorologie

DEUX AUTRES PHYSICIENS DISTINGUÉS

La naissance des modèles climatiques

Un sondage réalisé par le site britannique Carbon Brief avait déjà désigné Syukuro Manabe comme l'auteur de l'article scientifique (publié en 1967) consacré au réchauffement climatique le plus influent de tous les temps. Avec son collègue Richard Wetherald, ils avaient établi le premier modèle qui permettait de lier augmentation des concentrations en CO_2 atmosphérique et réchauffement. Dans la décennie suivante, Klaus Hasselmann poursuivit le développement de modèles en réussissant à lier pour la première fois changement climatique et certains phénomènes météorologiques. Un sujet brûlant d'actualité ***(lire p. 32)*** **! M. N.**

TIM GRAHAM / ROBERT HARDING PICTURE LIBRARY / BIOSPHOTO

D'où viennent les structures observées dans les nuées d'étourneaux en vol ? C'est l'un des problèmes du désordre étudié par Giorgio Parisi.

métal est facile, car tous les spins s'alignent dans le même sens et il n'y a qu'un état d'équilibre. « *Dans les interactions du modèle de verre de spins, certains petits aimants interagissent en s'alignant dans le même sens et d'autres en s'alignant en sens opposé. Résultat, il y a une multiplicité d'états d'équilibres possibles* », explique Leticia Cugliandolo, professeure à Sorbonne Université, à Paris, et qui a été postdoctorante à Rome avec Giorgio Parisi.

Premier coup de génie en 1979 où le savant trouve une astuce mathématique, baptisée méthode des répliques, qui permet de calculer le comportement de ces objets désordonnés. « *Le problème était que cela avait l'air de fonctionner, mais on n'y comprenait rien. Avec Giorgio Parisi et le physicien argentin Miguel Ángel Virasoro, qui* ▶

CHIMIE

Synthétiser des molécules

En chimie, s'assurer de la bonne formule chimique ne garantit pas que l'on est parvenu à synthétiser la molécule souhaitée. Ainsi, le limonène, une molécule organique comptant 10 atomes de carbone et 16 d'hydrogène, peut sentir soit le citron, soit l'orange : la molécule est asymétrique et ses deux formes sont images l'une de l'autre dans un miroir. Le Nobel de chimie vient couronner les travaux de deux scientifiques qui ont réussi à mettre au point une nouvelle voie de synthèse permettant de contrôler facilement la forme finale de la molécule. Son nom : l'organocatalyse asymétrique. La catalyse désigne l'accélération d'une réaction chimique avec un produit (le catalyseur) qui n'est pas lui-même transformé par cette réaction. Jusqu'en 2000, il n'existait que deux types de catalyseurs : les enzymes et les métaux. Chacun menant ses propres recherches, Benjamin List et David MacMillan en ont proposé un troisième. Le premier a extrait des acides aminés d'une enzyme et le second s'est inspiré des structures métalliques pour réaliser des petites molécules organiques. Ils ont ainsi obtenu une nouvelle voie de catalyse bien plus facile à mettre en œuvre pour obtenir des molécules asymétriques. « *Leur concept est si simple et si ingénieux que l'on se demande pourquoi personne n'y avait pensé plus tôt* », conclut Johan Åqvist, qui dirige le comité Nobel en chimie.

SIPA

Les lauréats
(de gauche à droite)
David MacMillan (Royaume-Uni), université de Princeton (États-Unis)
Benjamin List (Allemagne), Institut Max Planck

Mathieu Nowak @mathieu_nowak

MÉDECINE

Les récepteurs du chaud, du froid et du toucher

Dès le XVII^e siècle, Descartes proposait que lorsque le pied effleure une flamme, un fil microscopique répercute l'information dans le cerveau entraînant un signal retour pour contracter le muscle et éviter la brûlure. Le mécanisme de la réponse aux stimuli externes a été largement affiné au XX^e siècle, notamment avec les Américains Joseph Erlanger et Herbert Gasser dont les travaux sur les différents types de fibres nerveuses leur ont valu le Nobel de médecine en 1944.

Mais jusqu'aux avancées de David Julius et Ardem Patapoutian, on ignorait toujours comment un signal mécanique externe ou la température sont convertis en signaux électriques dans le système nerveux. C'est en cherchant systématiquement les gènes rendant sensibles au composant actif du piment, la capsaïcine, que David Julius a découvert le récepteur qui s'active lorsqu'un contact avec corps chaud est perçu comme douloureux. Il a ensuite utilisé le menthol pour identifier les récepteurs activés par le froid avec Ardem Patapoutian. Par ailleurs, ce dernier a identifié les récepteurs activés sous l'action d'une pression mécanique, ouvrant la voie à la compréhension du toucher.

SIPA

Les lauréats
(de gauche à droite)
Ardem Patapoutian (Liban, États-Unis), Institut Scripps (États-Unis)
David Julius (États-Unis), université de Californie

M. N.

vient de nous quitter, nous avons d'abord cherché à comprendre le contenu physique de ce "truc mathématique" et nous avons pu rendre la méthode utilisable avec des notions plus naturelles de probabilités, ce qu'on appelle aujourd'hui la méthode de cavité. Cela a abouti en 1987 à un livre coécrit par tous les trois qui permet d'avoir des méthodes utilisables pour les verres de spins, et qui ouvrait déjà une porte vers des applications multiples », raconte Marc Mézard.

Un impact sur toutes les branches de la science

De fait, les applications des méthodes élaborées par Giorgio Parisi ont rayonné dans de multiples branches de la science : en biologie pour décrire le repliement des molécules, en informatique pour les problèmes d'optimisation et aujourd'hui avec les réseaux de neurones de l'intelligence artificielle.

Loin de rester cantonné à la physique statistique, Giorgio Parisi a aussi été l'auteur de contributions majeures sur la croissance des interfaces, la turbulence, la résonance stochastique (pour l'étude du climat) et même, hors de la physique, sur l'immunologie ou le comportement des nuées d'étourneaux. « *Il a un côté savant de la Renaissance, féru et curieux de tout,* conclut Leticia Cugliandolo. *En physique des particules, ses travaux sur l'interaction forte publiés en 1977 avaient tellement marqué que dans mon laboratoire, certains pensaient qu'il pourrait avoir le prix Nobel pour cela* ». ■

Philippe Pajot @philpaj

Des anciens lauréats au chevet de la Terre

Que peut faire concrètement un prix Nobel pour la planète? Trois anciens primés en physique ont répondu à cette question lors d'une conférence TedxSaclay et coanimée par « Sciences et Avenir » et l'université Queen's (Canada).

En apportant célébrité et moyens financiers, le prix Nobel consacre une vie de chercheur, bouleverse forcément le quotidien du lauréat, mais lui offre aussi une opportunité inédite : porter des projets qui peuvent servir le plus grand nombre et qui ne sont pas forcément en droite ligne avec ses propres recherches.

La Canadienne Donna Strickland et le Français Gérard Mourou ont été récompensés en 2018 pour leurs travaux sur la physique des lasers et leurs applications, notamment pour la chirurgie de l'œil. Auréolée de son prix, Donna Strickland met aujourd'hui une partie de son énergie au service de la lutte contre le réchauffement climatique, dans le cadre du projet Photonics for Environment. « *En 2015, lors de l'accord de Paris, les responsables politiques de 195 pays se sont engagés dans un effort mondial pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Avec les membres de l'Optical Society* [association internationale promouvant la recherche en optique et photonique], *nous avons compris combien il allait être utile de faire des mesures* [notamment des différents gaz à effet de serre]. *Or, en optique, nous mettons au point des détecteurs. Ils ne sont pas forcément destinés à l'environnement, mais notre objectif est de faire se rencontrer des gens qui développent des capteurs et des chercheurs qui réalisent toutes sortes de mesures liées à l'environnement. Grâce au prix Nobel, cette initiative a tout de suite été entendue.* » La plate-forme Global Environmental Measurement & Monitoring illustre aujourd'hui cet effort pour fédérer scientifiques, ingénieurs et politiques autour de la problématique environnementale.

Porter des projets utiles au plus grand nombre, sans forcément de lien direct avec ses propres recherches

De son côté, Gérard Mourou se préoccupe tout particulièrement du problème de l'énergie. Selon le physicien, si nous voulons subvenir à nos besoins sans accroître le réchauffement climatique, nous aurons toujours besoin du nucléaire, mais il faut mettre le cap sur la fusion, plus sûre et qui produit moins de déchets. « *Les travaux que nous avons menés Donna et moi sur les impulsions lumineuses à très haute puissance devraient avoir une grande utilité*

LE CANADIEN ARTHUR MCDONALD (Nobel 2015) a participé avec d'autres physiciens spécialistes de la matière noire à l'invention d'un respirateur artificiel peu cher et simple à fabriquer.

LE FRANÇAIS GÉRARD MOUROU (Nobel 2018) veut appliquer ses travaux de recherche à la fusion nucléaire, afin de développer une énergie qui subviendrait aux besoins de l'humanité sans accroître le réchauffement climatique.

LA CANADIENNE DONNA STRICKLAND (Nobel 2018) fédère, à travers une plateforme numérique, des ingénieurs, des scientifiques et des politiques dans la lutte contre le réchauffement climatique.

PHOTOS: SPL/ AFP - AFP - SIPA

dans le domaine de la production d'énergie d'origine nucléaire. Ces impulsions lumineuses très brèves, très puissantes, et peu coûteuses engendrent une pression phénoménale. Elles pourraient servir à favoriser la fusion des éléments légers, comme ceux qui seront utilisés [du deutérium et du tritium], *par le réacteur de fusion expérimental en construction, Iter. Bien sûr, d'autres solutions existent pour produire de l'énergie, mais je pense qu'il faut vraiment accroître l'effort dans le secteur de la fusion nucléaire. Si la terre est un vaisseaun, prenons garde à ce que le voyage ne s'achève pas dans deux ou trois cents ans, faute d'énergie pour le poursuivre.* »

De la matière noire aux respirateurs pour le Covid

C'est aussi la survie de l'humanité qui préoccupe le Canadien Arthur McDonald, récompensé en 2015 pour ses travaux sur les neutrinos, des particules élémentaires, mais à une tout autre échelle. Au début de la pandémie de Covid-19, il a entrevu avec le physicien italien Cristiano Galbiati, de l'université de Princeton (États-Unis), une possibilité nouvelle de fournir rapidement des respirateurs aux services hospitaliers. De façon inattendue, l'idée lui est venue de son nouveau champ de recherche… la traque de matière noire ! « *Je participe à une expérience internationale* [Global Argon Dark Matter Collaboration], *dirigée par Cristiano Galbiati, qui cherche des particules de matière noire dans le sous-sol terrestre,* explique le physicien. *Pour cela, nous utilisons de grandes quantités d'argon. Cette capacité à manipuler du gaz a débouché sur des technologies qui ont été identifiées par Cristiano comme transposables pour fabriquer des ventilateurs mécaniques.* » Ainsi est né le dispositif Mechanical Ventilator Milano, simple à fabriquer, très peu coûteux et dont les plans sont en libre accès.

POUR EN SAVOIR PLUS

▸ La conférence « Terre, notre vaisseau » est à revoir sur le site de TedxSaclay : **tedxsaclay.com**

« *Nous n'avons mis que six mois entre l'idée et la certification,* note Art McDonald. *Aujourd'hui, le gouvernement canadien nous en a commandé 7000. Voilà un exemple où des chercheurs et des ingénieurs, ont eu l'idée d'utiliser des outils qu'ils possédaient pour fabriquer quelque chose de concret et de très utiles pour tous.* » Bien entendu, la renommée d'Arthur McDonald a permis de donner un grand coup d'accélérateur à ce projet. Et le physicien de conclure : « *J'espère que la façon dont le monde entier a travaillé ensemble pour résoudre les difficultés liées à la pandémie de Covid-19 va conforter auprès du public l'idée que la science peut trouver des solutions concrètes aux problèmes qui affectent tout un chacun. Je souhaite aussi que les gouvernements prennent pleinement conscience du pouvoir d'une coopération internationale.* » ■

Fabrice Nicot
@ fnicot07

BIOACOUSTIQUE Discipline scientifique qui étudie les communications sonores animales et humaines.

CHANT Succession de sons variés qui forment des motifs (refrains) et se répètent au cours du temps.

VIBRATO OU TRILLE syllabe consistant en une alternance très rapide de « notes » voisines.

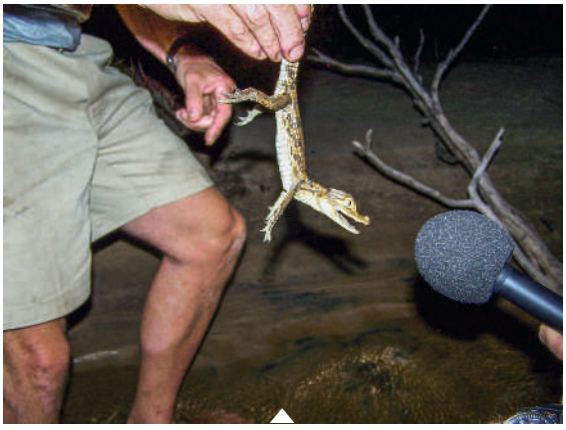
Le B.A.-BA du langage universel des bébés animaux

Du jeune singe à l'otarie, quelles stratégies développent les petits pour se faire reconnaître de leurs parents, hurler de peur ou grappiller de la nourriture ? Un bioacousticien français décrypte les mystères de la communication animale. Fascinant.

Par Rachel Mulot @RachelFleaux

« *Iouuinn-irrhouiiin.* » Lorsqu'on diffuse des pleurs de bébé humain dans un bassin de crocodiles, les femelles sont irrésistiblement attirées par le signal de détresse. « *Les modulations des pleurs, leurs rapides montées dans l'aigu, leurs côtés rugueux évoquent les cris de leurs propres enfants !* », analyse Nicolas Mathevon, professeur à l'université Jean-Monnet de Saint-Étienne (Loire), fondateur d'une équipe de bioacoustique *(voir lexique)*. Et les crocodiliennes se montrent plus réactives encore lorsque les biologistes diffusent des cris rugueux, signe de douleur, captés à l'occasion d'une séance de vaccination. Avec cette expérience, en cours de publication, le chercheur voulait vérifier si ces reptiles comprenaient les émotions codées dans les communications d'une espèce aussi éloignée que la nôtre. Il avait déjà observé que les mères caïmans à lunette répondaient avec un empressement égal au désarroi exprimé par des petits caïmans noirs, alligators du Mississippi et crocodiles du Nil qu'elles n'avaient jamais entendus dans leur milieu naturel, et dont les appels, pourtant très différents, étaient diffusés en playback dans un marais vénézuélien. « *Il arrive que des espèces partagent des manières communes de coder la même information,* note Nicolas Mathevon. *Poisson, oiseau, insecte, mammifère… chaque animal a son univers linguistique, témoignant d'interactions sociales précises. Mais certaines productions sonores ont une résonance quasi universelle, quand d'autres ne peuvent être comprises que par une espèce, voire par un parent.* »

Cette problématique ne cesse de fasciner celui qui travaille depuis trente ans à décrypter les sons animaux et à savoir ce que se racontent les bêtes. Dans cette quête, les crocodiliens ▸



THIERRY AUBIN/NICOLAS MATHEVON/CNRS PHOTOTHÈQUE

L'enregistrement des sons émis par un bébé caïman noir a permis d'identifier un cri d'alerte produit à l'intention de sa mère en cas de danger.

Je t'ai reconnue, maman !

Otarie à fourrure
Le petit bêle lorsqu'il reconnaît sa mère.

À mon tour de manger !

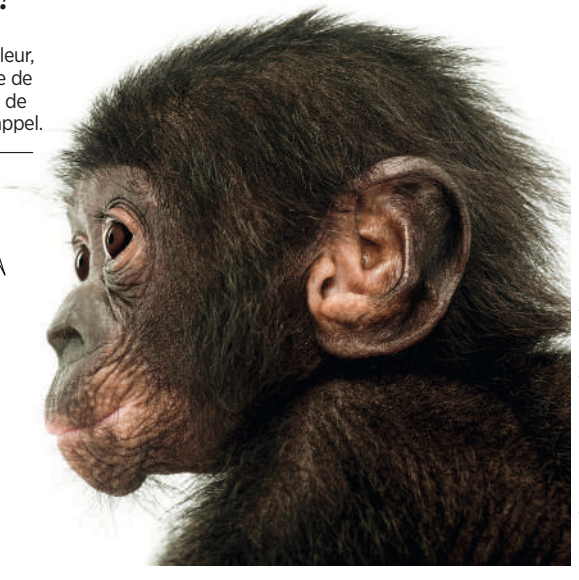
Chouette effraie
Les poussins négocient pour décider qui gobera la prochaine souris.

Je suis l'un de tes chouchous !

Rouge-queue noire
Les bébés donnent leur identité à celui des parents qui les nourrit.

À l'aide !

Bonobo
Stress, peur, douleur, faim et demande de câlin font partie de leur répertoire d'appel.



Je veux sortir

Crocodile du Nil
Le petit reptile « chouine » pour prévenir qu'il va quitter son œuf.

Donnez-nous en plus

Mouette rieuse
Les oisillons qui « ricanent » en chœur obtiennent plus de nourriture.

PHOTOS : MORTENELM/GETTY IMAGES - D.KINDERSLEY/ALAMY/PHOTO12.COM - W. MARTIN/GETTY IMAGES - ALAMY/PHOTO12.COM - A. SHAH/NATUREPL/EBPHOTO - GETTY IMAGES

VOCALISES

Ces animaux qui babillent comme nos bébés

Les vocalisations des bébés chauves-souris de l'espèce *Saccopteryx bilineata* présentent des similarités avec le babillage humain, selon une récente étude allemande et panaméenne. Dans notre espèce, les tout-petits produisent une gamme de sons spécifiques — bababa, gagaga, etc. — lorsqu'ils s'entraînent à imiter la parole des adultes. Cet échauffement créerait également des liens avec les adultes, incitant ces derniers à s'en occuper davantage des « bavards », selon l'évolutionniste américaine Sarah Blaffer Hrdy. La chercheuse remarque que le babillage n'existe que chez certains singes à queue — ouistitis, tamarins — qui pratiquent l'élevage coopératif, et profite à ceux qui vocalisent de concert avec les adultes.

Certaines chauves-souris s'exercent au langage, comme les bébés humains.

SHUTTERSTOCK

sont des sujets de prédilection, *« car ils sont les seuls reptiles à s'occuper de leurs jeunes, et qui dit soins parentaux dit forcément communication »*, justifie le chercheur. *« Quelles informations sont échangées entre les parents et les jeunes ? Comment sont-elles codées puis décodées ? Les bébés développent-ils des stratégies de communication efficaces ? La réponse parentale est-elle appropriée ? »* Telles sont les questions que Nicolas Mathevon « pose » notamment aux reptiles, testant leurs réactions, à coups de sons enregistrés et diffusés par des haut-parleurs, dans leur environnement, ou dans des chambres acoustiques aménagées dans son laboratoire stéphanois, qu'il nous fait visiter. Point capital : les crocodiliens appartiennent au très ancien clade des archosaures — vieux de plus de 250 millions d'années — qui comprend les oiseaux, descendants des dinosaures aviaires et virtuoses du chant. *« Les "crocos" sont donc un maillon essentiel pour comprendre l'évolution du langage animal »*, explique le bioacousticien.

Trois types de chouinement pour les crocrodiliens

Pour une oreille profane, il y a un gouffre de sophistication entre, par exemple, les élégants trilles du rouge-gorge et les vagissements des crocodiliens. Les bébés de ces derniers chouinent faiblement, un peu comme un jouet plastique mâchouillé par un chien. Les enregistrements décryptés par logiciel et les expériences de terrain montrent toutefois que les petits crocodiliens produisent trois types de sons distincts. Le premier, émis dans la coquille, est un faire-part de naissance, un signal du type *« je veux sortir »* adressé à sa mère qui a enfoui les œufs à proximité d'elle dans le sable ou sous des feuilles. Alertée, elle l'aide à s'extirper et l'abrite dans sa gueule jusqu'au point d'eau. Le second cri est dit de contact : les petits l'utilisent pour rester groupés et ne pas s'égarer. Le troisième cri est celui d'alerte, en cas de danger. La génitrice se précipite alors gueule ouverte pour intervenir. *« Même à plusieurs dizaines de mètres de distance, et même si l'on rajoute un fort bruit ambiant, sa capacité à localiser son rejeton est stupéfiante »*, souligne Thierry Aubin (CNRS, université Paris-Saclay), qui collabore avec Nicolas Mathevon.

Un son unique repérable par les parents

Les cris des juvéniles évoluent au fur et à mesure de leur croissance et codent pour leur stature. Et la mère est sensible à cette information : si elle intervient en entendant des cris correspondant à la taille de naissance, soit 25 cm, elle snobe ceux des individus mesurant 45 cm *« Souvent, elle les fuit, emmenant les tout-petits plus loin. Le cannibalisme est courant chez ces reptiles, peut-être agit-elle en conséquence »*, expliquent les spécialistes. En revanche, les sons émis par chaque crocodilien ne contiennent aucune information sur leur identité propre. Une telle précision est l'apanage d'oiseaux et mammifères.
Certains d'entre eux s'identifient en effet avec un cri unique que leurs parents sont capables de discerner parmi une mul-

PATRICK KAVANAGH

Je ne suis pas un parasite !

Mérion superbe
Les petits donnent le code pour être distingué des coucous.

titude. *« Les éléphants de mer s'appuient sur des caractéristiques rythmiques (impulsions sonores) et spectrales (timbre) pour se reconnaître,* souligne ainsi Isabelle Charrier, directrice de recherche au CNRS (université Paris-Saclay). *C'est le premier exemple dans la nature où un animal utilise la mémoire et la perception du rythme pour distinguer d'autres membres de la population. D'autres peuvent également reconnaître différents rythmes, mais seulement avec de l'entraînement, et non pas de manière spontanée.* » Il faut deux à cinq jours au nouveau-né otarie à fourrure pour identifier la voix de sa mère, cette dernière attendant toujours que cet apprentissage soit en place pour partir en mer.

Et quand les petits sont nombreux ? Chez les rouges-queues noirs, les parents se partagent la nichée après l'envol, deux relevant de la responsabilité du père, trois de la mère par exemple, a montré l'éthologue Tudor Draganoiu, de l'université Paris-Nanterre. Chaque jeune bec affamé envoie un message du type *« je suis l'un de tes protégés »* à son parent nourricier, qui discrimine entre leurs vocalisations et celles des petits dont son partenaire a la charge. De quoi éviter l'épuisement et la dispersion ! Les poussins de la chouette effraie, de leur côté, *« négocient en pépiant pour savoir qui d'entre eux mangera la prochaine souris rapportée au nid par les parents »*, a montré Alexandre Roulin, de l'université de Lausanne (Suisse). Tout l'inverse des mouettes rieuses, dont les jeunes se liguent pour exiger toujours plus. Plus les jeunes sont nombreux, plus ils quémandent de concert, plus l'appel est synchrone… et plus les parents régurgitent de la nourriture sur le sol. *« Avantage à la chorale ! »*, traduit Nicolas Mathevon.

Parfois, enfin, *« le langage crypté est un avantage en cas de compétition entre espèces »*, estime Sonia Kleindorfer, de l'université Flinders à Adélaïde (Australie). Ainsi, les petits du mérion superbe apprennent avant même d'éclore, un « mot de passe » de leurs ascendants qui les différencie des petits du coucou parasitant leur nid.

Chez l'humain, les clichés sexistes brouillent les pistes

Qu'en est-il chez les parents humains ? Des travaux sont en cours au centre hospitalier universitaire de Saint-Étienne. L'information portée par les pleurs de leurs bébés — faim, douleur, besoin de sommeil ou de contact — et son traitement au niveau du cerveau des adultes ne sont pas encore précisément connus. Mais les expériences montrent déjà que les cris les plus aigus ne sont pas l'apanage des filles. Et les pères tout autant que les mères sont capables de reconnaître les appels de leur nourrisson et la raison de ses pleurs. D'où la première conclusion de ces travaux selon Nicolas Mathevon : *« Les stéréotypes sexistes viennent brouiller l'attention, l'écoute et la perception des parents. »* ■

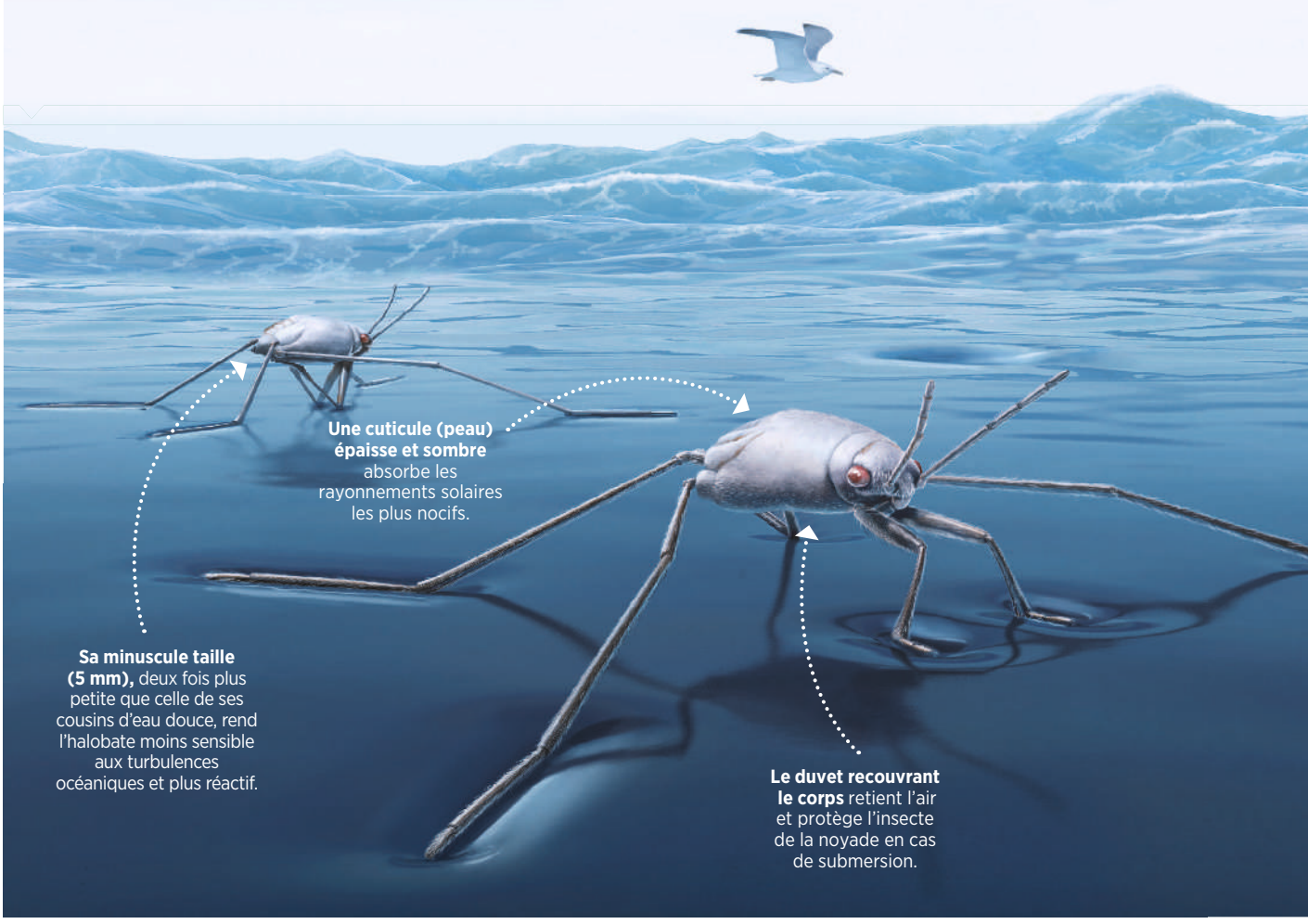
POUR EN SAVOIR PLUS

- Écoutez ou voir le cri de danger du bébé caïman, l'appel du jeune bonobo, les retrouvailles sonores entre une mère otarie et son jeune, le dialogue entre un bébé morse et sa mère, etc. : **sciav.fr/897bioacoustique**
- **Les animaux parlent. Sachons les écouter,** Nicolas Mathevon, Humensciences, 2021.

PRIMATOLOGIE

Quand les humains interprètent les cris des bonobos juvéniles

Lorsqu'on fait écouter des gémissements de petits bonobos et chimpanzés à des humains, ceux-ci estiment systématiquement que les premiers sont en proie à une détresse plus importante que les seconds. Pourquoi ? Simplement parce que les bonobos ont des voix naturellement plus aiguës. Or les mammifères associent les sons aigus à la peur, rappelle Florence Levréro, de l'université Jean-Monnet de Saint-Étienne. *« Cela va fonctionner de la même façon pour les singes »*, suppose-t-elle. À l'inverse, les bonobos peuvent certainement percevoir un chimpanzé qui exprime une peur ou une menace, mais sans en mesurer le degré. Même si les signaux vocaux codent puissamment pour les émotions de celui ou celle qui les émet, les barrières culturelles empêchent autrui de les recevoir parfaitement.



XAVIER PITA / KAUST

Comment cet insecte a conquis les océans

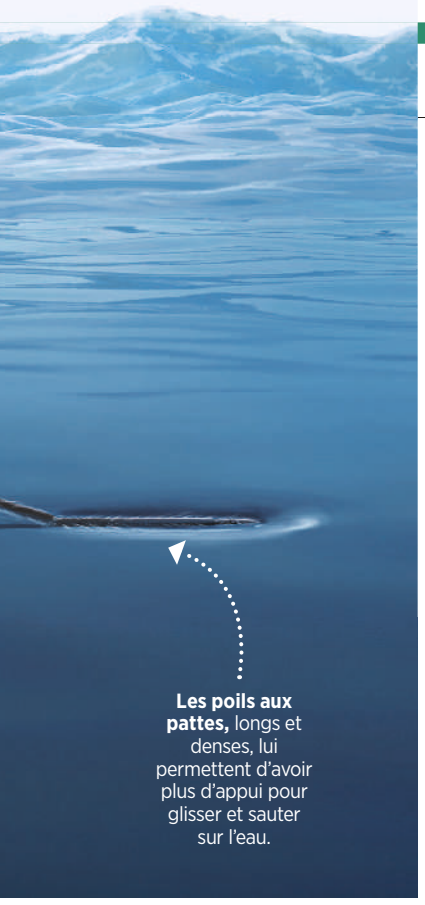
Parmi des millions d'espèces d'insectes, seul l'halobate parvient à évoluer au cœur des mers, sans savoir ni voler ni nager… Des chercheurs viennent de percer les secrets qui lui permettent de survivre dans cet environnement hostile.

Ce sont les seuls insectes qui évoluent au milieu des océans sans savoir voler ni nager ! *« En haute mer, ils n'ont nulle part où s'abriter et sont à la merci des prédateurs, du soleil, du manque de nourriture et des intempéries »*, s'étonne Himanshu Mishra, professeur à l'université des sciences et technologies du roi Abdallah (Arabie saoudite) et spécialiste de l'animal. À première vue pourtant, leur morphologie semble n'avoir rien d'extraordinaire : les halobates sont un genre d'araignées d'eau — des insectes proches des punaises que l'on est plus habitué à voir « patiner » sur un étang que dans la houle. Parmi les 46 espèces d'halobates répertoriées, seules cinq vivent au large des océans Indien, Pacifique et Atlantique, entre les tropiques, jusqu'à des milliers de kilomètres du littoral le plus proche. Quel est donc leur secret ?

Une pilosité qui le rend insubmersible

Le découvrir s'est avéré un casse-tête pour les scientifiques. *« Nous pouvons facilement prélever des halobates dans la nature, mais ils meurent vite en captivité »*, explique Lanna Cheng, chercheuse émérite à l'institut d'océanographie Scripps à l'université de Californie à San Diego (États-Unis). Friands de zooplancton — l'ensemble des petits animaux vivant en suspens dans l'eau —, ils sont difficiles à nourrir en aquarium. Quant à les observer *in situ*, les coûts exorbitants des expéditions océanographiques s'y opposent.

Malgré ces obstacles, Himanshu Mishra, Lanna Cheng et une équipe internationale de cher-



Les poils aux pattes, longs et denses, lui permettent d'avoir plus d'appui pour glisser et sauter sur l'eau.

cheurs ont réussi à lever le voile sur les secrets des halobates, en comparant *Halobates germanus* — espèce hauturière — et *Halobates hayanus* — espèce côtière — avec des araignées d'eau douce. Verdict : le corps très hydrophobe et la petite taille des halobates sont sûrement les clés de leur conquête du large.

Pour commencer, un duvet de chitine, scruté par les chercheurs au microscope électronique à balayage, quadrille le corps des halobates de 600 000 poils au mm². Haut de 2 micromètres, il est surplombé par de longs poils de 25 micromètres, qui sont quatre fois plus touffus chez les halobates que chez leurs cousins d'eau douce. Résultat, une surface de contact décuplée entre l'eau et le corps qui permet aux halobates de marcher sur l'eau avec plus d'assurance.

Mais ce n'est pas tout. Au lieu de simples tiges comme chez les autres araignées d'eau, le duvet des halobates est constitué de poils en forme de minuscules champignons de 2 micromètres de diamètre. Ils forment une véritable prison d'air qui permet à l'animal de survivre aux intempéries malgré son système respiratoire adapté au milieu aérien.

Combien de temps ? *« On ne sait pas exactement. Lors de précédentes recherches, j'ai maintenu des halobates submergés pendant seize heures, et ils ont survécu sans séquelles ! »*, s'exclame Lanna Cheng.

Ce pelage nécessite un entretien permanent, que les chercheurs ont pu observer en détail. L'animal se nettoie avec les extrémités recourbées de ses pattes avant, et utilise une cire produite par des glandes ventrales. Résumons : une pilosité dense et particulièrement hydrophobe, même en comparaison des araignées d'eau douce, a rendu les halobates insubmersibles. Un sacré atout dans la conquête du grand large, autrement plus agité qu'une mare aux canards… mais ce n'est pas tout. Un format miniature — une taille de 5 mm pour un poids de 5 mg — constitue l'autre avantage décisif des halobates. Deux fois plus petits que leurs cousins lacustres, ils perdent en taille ce qu'ils gagnent en esquive face à des attaques simulées de prédateurs — qui consistent à frapper la paroi de leur aquarium. *« Ils réagissent bien plus vite, 12 millisecondes contre 25 millisecondes »*, confirme Himanshu Mishra.

Son accélération le fait échapper à ses prédateurs

Ces nains aux yeux de lynx peuvent alors sauter à 5 cm de haut à la vitesse de 1 mètre par seconde. Une impressionnante performance, qui a nécessité l'usage de caméras haute vitesse pour déterminer l'accélération correspondante : jusqu'à 389 mètres par seconde au carré, soit près de 40 g. Ce qui permettrait en théorie de passer le mur du son en 86 centièmes de seconde ! De quoi fuser devant ses principaux prédateurs, c'est-à-dire dès qu'un oiseau descend en piqué, ou lorsque la silhouette d'un poisson se rapproche dangereusement de la surface…

Néanmoins, de nombreuses zones d'ombre persistent. *« Nous n'avons pas trouvé de différences significatives en termes de pilosité ou de taille entre* H. hayanus *et* H. germanus. *Nous poursuivons des recherches pour comparer les adaptations des halobates à la côte et au large »*, détaille Himanshu Mishra. *« Comment trouvent-ils leurs partenaires sexuels ? Quand se sont-ils adaptés à la vie hauturière ? Quelles substances les protègent des rayonnements UV du soleil ? Il y a encore tant de choses qu'on ignore »*, conclut Lanna Cheng. ■ **François Mallordy**

BIOLOGIE MARINE

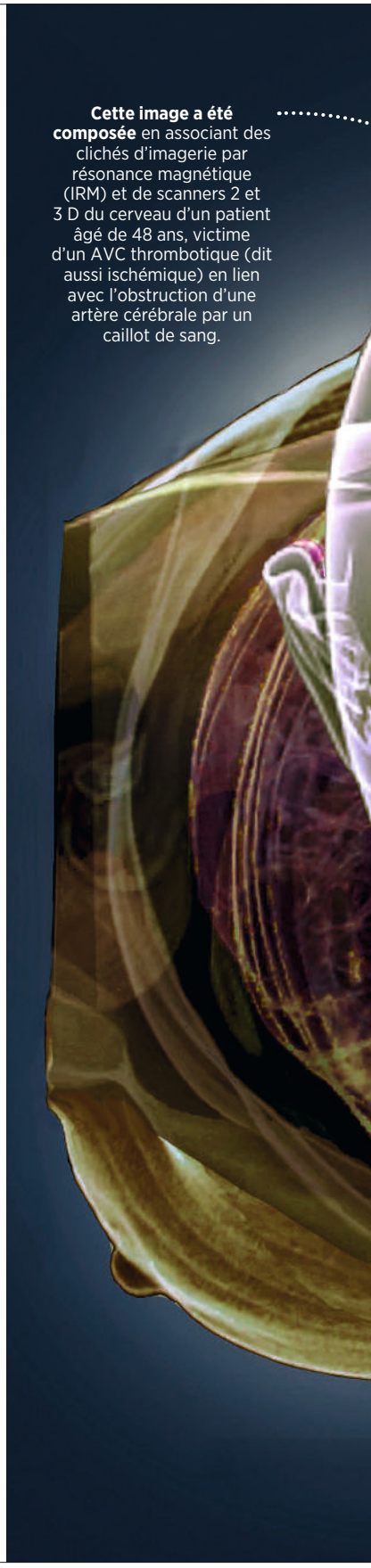
Des cousins séparés par les aléas des courants

Étroitement apparentées, trois espèces d'halobates vivent dans un mouchoir de poche au large de l'Amérique centrale. Comment l'expliquer ? De récentes recherches, publiées en septembre dans la revue *Marine Biology*, se sont appuyées sur l'analyse de l'ADN de 102 spécimens pour dévoiler que ces halobates ont suivi l'évolution de leurs habitats. *H. splendens* abonde dans le courant froid de Humboldt depuis sa mise en place au large du Pérou il y a un million d'années, tandis que *H. sobrinus* et *H. micans* ont commencé à pulluler il y a 120 000 et 100 000 ans, lors du réchauffement des zones dans lesquelles ces espèces d'eau chaude vivent encore aujourd'hui.

AVC : à l'assaut des caillots résistants

L'étude de ces responsables des accidents vasculaires cérébraux ouvre la voie à des traitements innovants et personnalisés. Reportage à Paris dans la plus grande banque de caillots d'Europe.

Par Sylvie Riou-Milliot



Cette image a été composée en associant des clichés d'imagerie par résonance magnétique (IRM) et de scanners 2 et 3 D du cerveau d'un patient âgé de 48 ans, victime d'un AVC thrombotique (dit aussi ischémique) en lien avec l'obstruction d'une artère cérébrale par un caillot de sang.

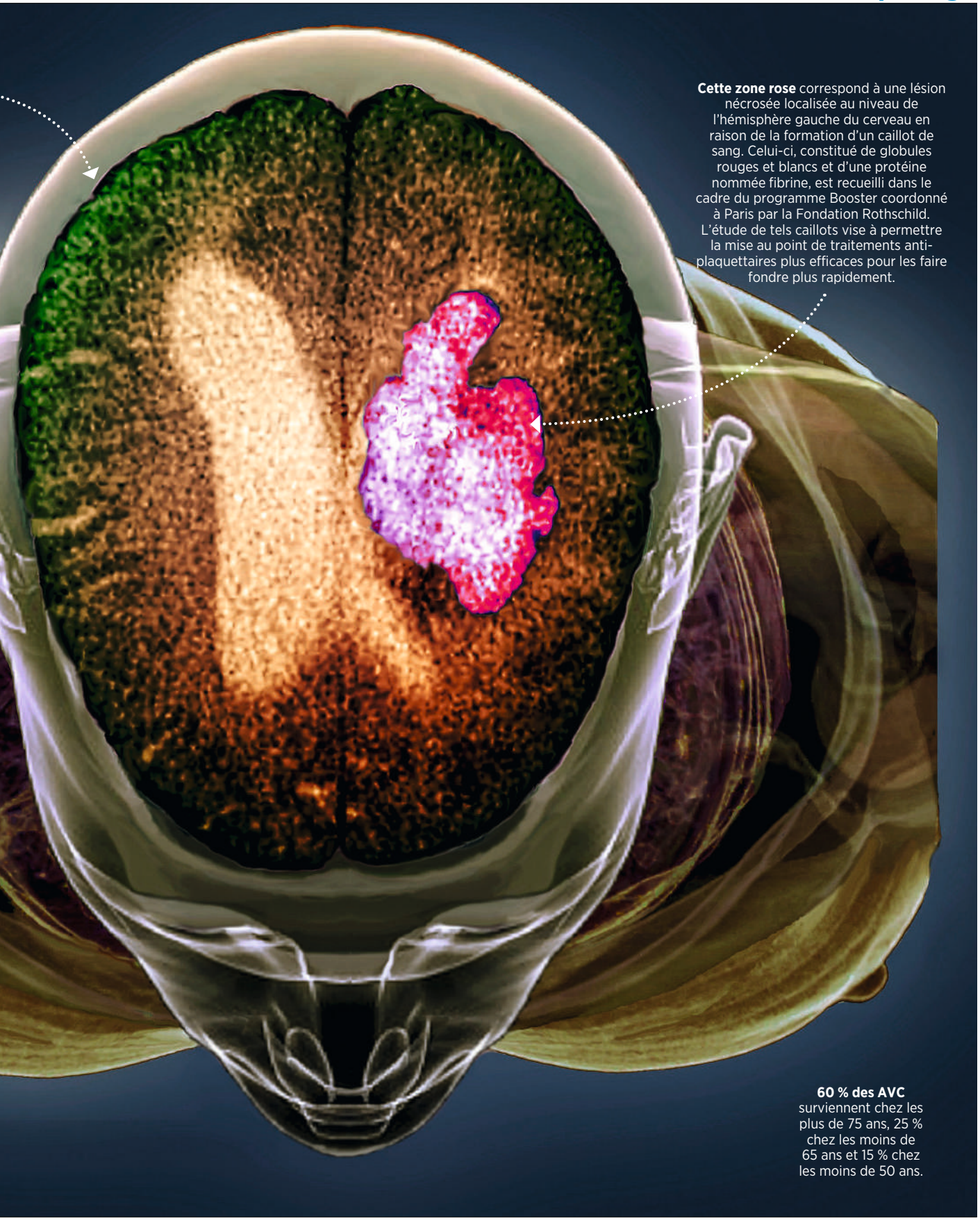
Avant ils finissaient tous dans les poubelles des hôpitaux, tels de vulgaires déchets. Aujourd'hui, les scientifiques les conservent et les manipulent avec précaution pour les étudier et surtout comprendre comment mieux les traiter. « Ils », ce sont les caillots qui finissent parfois par obturer une ou plusieurs artères cérébrales. En clair, les principaux responsables des accidents vasculaires cérébraux (AVC) — 85 % de ces derniers sont dus à un caillot, 15 % à une hémorragie. Un fléau qui concerne à des degrés divers de sévérité une personne toutes les cinq secondes dans le monde. Ici, à l'hôpital Fondation Rothschild à Paris, une biobanque leur est entièrement consacrée. « Made in France », elle est la plus importante d'Europe. Dans les tiroirs de ses deux vastes congélateurs reposent par - 80 °C dans de la carboglace plus de 1500 lamelles de verre. Sur chacune, un caillot (dit aussi thrombus), un amas de cellules sanguines (globules blancs, rouges, plaquettes) et de fibrine, la principale protéine du sang contribuant à leur formation.

C'est sur cette banque que repose le programme de recherche Booster. Coordonné par le Pr Mikael Mazighi, neurologue à l'hôpital Fondation Rothschild, il a été lauréat en 2019 de l'appel à projet de recherche hospitalo-universitaire en santé (RHU) de l'Agence nationale de la recherche. « *Notre objectif est de faire émerger une médecine personnalisée de l'AVC en situation d'urgence* », explique le spécialiste. De fait, la prise en charge de l'AVC, dont les premiers symptômes demeurent ▶

150 000
nouveaux cas d'AVC par an en France.

62 000
décès annuels.

500 000
Français vivent avec les séquelles d'un AVC, première cause de handicap chronique chez l'adulte.



Cette zone rose correspond à une lésion nécrosée localisée au niveau de l'hémisphère gauche du cerveau en raison de la formation d'un caillot de sang. Celui-ci, constitué de globules rouges et blancs et d'une protéine nommée fibrine, est recueilli dans le cadre du programme Booster coordonné à Paris par la Fondation Rothschild. L'étude de tels caillots vise à permettre la mise au point de traitements anti-plaquettaires plus efficaces pour les faire fondre plus rapidement.

60 % des AVC surviennent chez les plus de 75 ans, 25 % chez les moins de 65 ans et 15 % chez les moins de 50 ans.

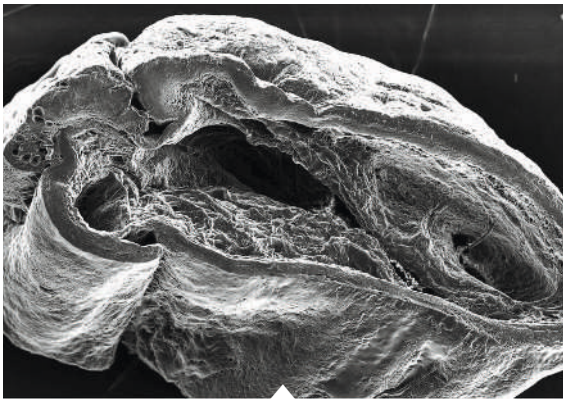
ZEPHYR/SPL/PHANIE

DIAGNOSTIC

Les signes qui doivent alerter

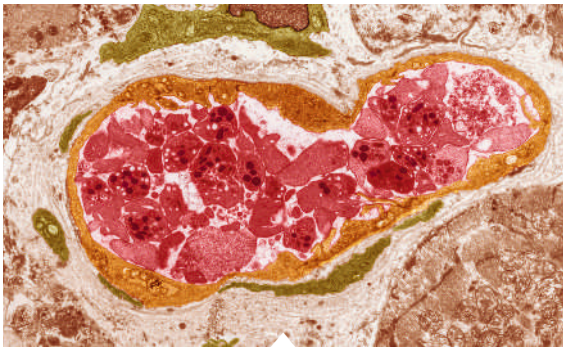
Pour savoir repérer un AVC, on peut mémoriser l'acronyme VITE pour : Visage paralysé, Inertie d'un membre, Trouble de la parole, Extrême urgence. Mais la difficulté est qu'en réalité, les symptômes varient selon la zone cérébrale concernée : ils sont nombreux et peuvent se combiner : paralysie, engourdissement d'une partie du visage (déviation de la bouche…), problèmes d'élocution, impossibilité de trouver ses mots. Sans oublier une perte de force ou de motricité au niveau d'un membre (bras, jambe) ou d'une partie du corps, des maux de tête violents inhabituels ou des troubles du toucher, de la vue. Les signes peuvent aussi être brefs et réversibles, on parle alors d'accident ischémique transitoire (AIT). Mais l'urgence est identique car l'AIT peut précéder de quelques heures ou jours l'AVC. Dans tous les cas, composer le 15 ou le 112.

mal connus *(lire l'encadré ci-dessus)*, est largement perfectible. Aujourd'hui, seuls 15 % des patients bénéficient du traitement de référence, la thrombolyse, c'est-à-dire l'injection intraveineuse de médicaments dits antiplaquettaires pour faire fondre le caillot. 140 centres sur le territoire peuvent réaliser ce geste. Mais pour être efficace, il doit impérativement être réalisé au maximum quatre heures et demie après les premiers signes.



INSERM

Le caillot a parfois l'aspect d'une noix, avec un intérieur mou entouré d'une coque qui rend difficile sa dissolution par thrombolyse.



SPL/SUCRÉ SALÉ

Le thrombus (ou caillot) se forme dans une artère ou veine et empêche le sang de circuler (ici vu au microscope électronique).

Tous les caillots ne se ressemblent pas

Depuis 2015, une autre approche, chirurgicale, a été validée. Mais elle ne se pratique que si le caillot se situe au niveau d'un gros vaisseau. Et seulement 40 centres experts — des unités dites de neuro-radio interventionnelle (NRI) — proposent cette thrombectomie qui nécessite la présence d'un neuroradiologue. C'est grâce à cette technique que la biobanque a pu se constituer. Elle recueille des caillots prélevés lors de thrombectomies réalisées à la Fondation Rothschild mais aussi dans six autres centres en France (Bordeaux, Caen, Nantes, Nancy, Suresnes et Rennes). Comment l'opération se déroule-t-elle ? Une fois le caillot repéré par l'imagerie (scanner, IRM), il faut aller le chercher directement dans le cerveau avec un microcathéter introduit dans l'artère fémorale. Le radiologue remonte ainsi jusqu'au réseau vasculaire cérébral, pour déployer autour du caillot un filet grillagé (stent) qu'il va retirer progressivement. *« Une fois extrait, le caillot peut être congelé, fixé et ses cellules marquées par immunofluorescence »*, précise Véronique Ollivier, ingénieure de recherche, qui travaille sur Booster, en collaboration avec Benoît Ho-Tin-Noé dans l'équipe Inserm du Laboratoire de recherche vasculaire translationnelle (LVTS) à l'hôpital Bichat (Paris). Ils ont également recours à des techniques tant chimiques que physiques comme la microscopie électronique (Scanning Electron Microscopy, SEM).

Leur premier constat a été celui d'une grande hétérogénéité. Tous les caillots ne se ressemblent pas et, surtout, tous ne « fondent » pas de la même manière sous l'action de la thrombolyse, même si celle-ci est administrée à temps. Certains résistent. Et les chercheurs ont réussi à comprendre pourquoi. *« Nous avons montré que des réseaux extracellulaires d'ADN* [dits NETS pour Neutrophil Extracellular Traps] *étaient relargués par les globules blancs et venaient entourer le caillot en formant une coque »*, précise Véronique Ollivier. *« À l'arrivée, le caillot est un peu comme une noix, avec une coque, plus ou moins dure et un cœur plus mou »*, poursuit Mikael Mazighi.

Une molécule et un anticorps à l'essai

C'est cette coque qui constitue un obstacle à l'action de la thrombolyse. Les scientifiques l'ont confirmé sur des caillots qu'ils ont eux-mêmes créés *de novo* dans des tubes à essai. Leur objectif est donc désormais de développer des médicaments pour parvenir à la briser. Déjà, une molécule est en phase de test : une enzyme dérivée d'une molécule utilisée dans la mucoviscidose

(Pulmozyme) capable de digérer l'ADN. *« Ces traitements pourront être administrés en association avec les antiplaquettaires utilisés lors de la thrombolyse afin d'augmenter l'efficacité de celle-ci »*, précise le spécialiste. Mais d'autres essais ont aussi commencé. Ils reposent par exemple sur la recherche de nouveaux antiplaquettaires, comme cet anticorps très prometteur, le glenzocimab (Acticor Biotech). *« Issu des travaux de la biochimiste Jacqueline Jandrot-Perrus, il agit en bloquant une cible nouvellement identifiée, la glycoprotéine (GPVI), présente à la surface des plaquettes,* détaille Mikael Mazighi. *Son grand intérêt est avant tout de faire fondre le caillot mais sans saigner. »*

Vers une démarche personnalisée

L'objectif du programme de recherche Booster va même au-delà de l'étude des mécanismes de formation de la coque et de sa résistance. Il prévoit aussi par exemple de mettre au point une nouvelle génération de stents dits actifs, recouverts de molécules ayant une forte affinité pour l'ADN, ce qui permettra d'agir au moment même de la thrombectomie. Tests prévus d'ici à un à deux ans.

Mais surtout, à terme, l'ambition de Mikael Mazighi et son équipe est de développer une démarche personnalisée à chaque victime d'AVC. D'ici à 2026, date de la fin du financement de leur programme, ils espèrent identifier la signature unique, tant biologique que radiologique, d'un caillot. *« Cela permettra de mieux graduer la prise en charge »*, résume le neurologue. La recherche de biomarqueurs sanguins facilement identifiables par une simple prise de sang a commencé, tout

RECHERCHE

Cinq avancées prometteuses

1 La plate-forme robotique

Un programme de recherche clinique sur l'utilisation de la robotique pour la prise en charge des AVC a été lancé en juillet dernier au CHU de Rennes. Il vise à tester une assistance au médecin par le bras robotique R-One développé par l'institut de recherche rouennais Robocath. Deux promesses : plus de précision pour le geste chirurgical et une réduction de l'exposition du personnel médical aux rayons X.

2 L'oxygène pur

Réveiller le cerveau fragilisé par un AVC avec de l'oxygène pur : une piste de recherche en cours qui consiste pour le patient en différents passages dans un caisson hyperbare. Il y reçoit une oxygénothérapie hyperbare (OHB), c'est-à-dire de l'oxygène pur inhalé à une pression supérieure à la pression atmosphérique. Utilisée pour les intoxications au gaz carbonique ou pour les accidents de décompression des plongeurs, cette approche doit confirmer son intérêt dans la récupération post-AVC.

E. SOUDAN/ ALPACA/ ANDIA.FR

Inhaler de l'oxygène pur dans un caisson hyperbare pour récupérer après un AVC est une piste de recherche.

3 La prévention de la récidive

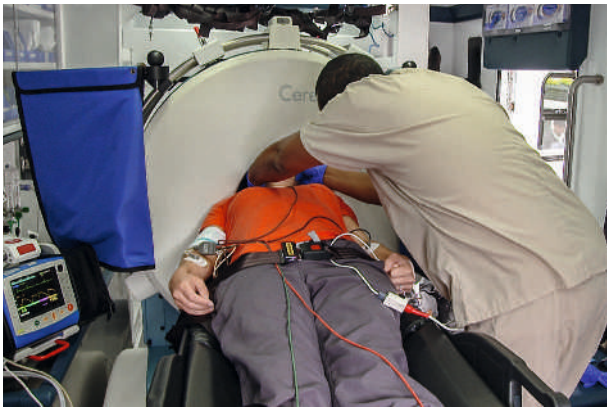
Une étude française publiée en 2019 a démontré qu'il est possible d'éviter une récidive d'AVC dans les cinq ans chez des patients atteints d'athérosclérose (dépôts de plaques sur la paroi des artères). Ceci en associant un traitement (statines et ézétimibe) pour faire baisser le « mauvais » cholestérol (LDL) et des mesures de prévention (baisse de la pression artérielle, arrêt du tabac, traitement du diabète, et traitement anti-thrombotique).

4 Le faux sel

La première preuve d'efficacité du « faux sel » — un substitut à faible teneur en sodium — dans la réduction du risque d'AVC a été récemment apportée par une étude australienne parue dans le *New England journal of Medicine*. Cela permet de réduire de 15 % le risque d'AVC chez les personnes souffrant d'hypertension artérielle (HTA) ou ayant déjà subi un AVC.

5 Le patch prédictif

Prédire la survenue de l'AVC comme d'autres dispositifs détectent une crise d'épilepsie : c'est ce que pourrait proposer un patch cutané placé au niveau du cou. Un prototype, développé par des bioingénieurs de l'université de Californie à San Diego aux États-Unis, analyse le flux sanguin circulant au niveau des vaisseaux du cou jusqu'à 14 cm de profondeur grâce à des capteurs à ultrasons. Il n'a pour l'heure encore testé que chez des volontaires sains (*lire* S. et A. *n° 896*).



UCLA HEALTH

Équipée d'un scanner, l'unité neurovasculaire mobile permet d'identifier le type d'AVC et de débuter immédiatement le traitement (ici aux États-Unis).

PRISE EN CHARGE

Bientôt une ambulance dédiée à l'AVC dans les rues de Paris

D'ici à quelques mois va débuter à Paris l'étude Asphalt, qui évaluera la première unité neurovasculaire (UNV) mobile française, une ambulance équipée d'un scanner et dédiée à la prise en charge des AVC. Objectif : *« amener l'hôpital au patient »*, résume son coordonnateur, Guillaume Turc, neurologue au groupe hospitalier universitaire psychiatrie & neurosciences à Paris. L'intégration du scanner dans le véhicule est en cours en Allemagne et existe déjà aux États-Unis. Impliquant le Samu de Paris, la brigade des sapeurs-pompiers et financée par le ministère de la Santé, l'étude inclura 450 patients en trois ans. Elle doit démontrer que le recours à l'UNV mobile permet une réduction du handicap à trois mois. Réponse en 2025.

comme la mise au point d'un algorithme aidant à mieux analyser les images obtenues par le scanner. Selon le profil du caillot et sa résistance éventuelle, le médecin pourra ainsi choisir au plus tôt soit une thrombolyse simple ou enrichie avec un cocktail de médicaments, soit une thrombectomie, voire, dans les cas les plus graves, une combinaison de ces approches.

Le choix — et même l'administration d'un traitement —, devrait idéalement être fait dès la prise en charge dans l'ambulance. En effet, chaque minute passée sans oxygène se traduit par une perte de deux millions de neurones. C'est pour cette raison que plus tôt l'AVC est pris en charge, moins il laissera de séquelles. Le programme Asphalt *(lire l'encadré ci-dessus)*, qui devrait démarrer d'ici à début 2022, vise ainsi à développer une ambulance équipée d'un scanner, entièrement dédiée à l'AVC. Une première en France coordonnée par Guillaume Turc, neurologue au groupe hospitalier universitaire Paris psychiatrie & neurosciences. Décider dans l'ambulance permettra ainsi de se diriger sans délai soit vers un centre expert en thrombolyse, une unité NRI ou une structure mixte. Un maillage national de ces différentes unités visant à couvrir l'ensemble du territoire est d'ailleurs en cours de refonte. Avec toujours le même objectif : faire vite pour réduire la gravité du pronostic futur. *« Chaque minute gagnée dans l'administration de la thrombolyse intraveineuse correspond à deux jours supplémentaires de vie sans handicap, et à cinq jours dans le cas d'une thrombectomie »*, précise Guillaume Turc. Une étude menée à Berlin par les pionniers des unités mobiles à l'hôpital de la Charité récemment publiée dans la revue *Jama* a démontré que les patients pris en charge dans l'ambulance recevaient la thrombolyse 25 minutes plus tôt que les autres. L'urgence est là. ■

G. TURC

« Chaque minute gagnée dans le cas d'une thrombectomie correspond à 5 jours supplémentaires de vie sans handicap »

Guillaume Turc, neurologue au GHU Paris psychiatrie & neurosciences

35 GRANDS TITRES DE PRESSE À PRIX IMBATTABLE !

PRIX UNIQUE **39€** l'abonnement

Jusqu'à **-69%** de remise

ruedesétudiants
JE SUIS ÉTUDIANT, JE M'ABONNE

BULLETIN D'ABONNEMENT ÉTUDIANT

A renvoyer complété et accompagné de votre règlement, sous enveloppe non affranchie à :
RUE DES ETUDIANTS - LIBRE REPONSE 82532 - 75803 PARIS CEDEX 08

PASCA21

1. COCHEZ LE OU LES ABONNEMENTS QUE VOUS CHOISISSEZ

ACTUALITÉ INTERNATIONALE

- ☐ **Courrier international** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Vocable** | Bimensuel | 21 nos
  ☐ Anglais ☐ Allemand ☐ Espagnol (cochez l'édition choisie)
- ☐ **Le Monde diplomatique** | Mensuel | 12 nos
- ☐ **La Croix L'Hebdo** | Hebdomadaire | 25 nos
- ☐ **Challenges** | Hebdomadaire | 22 nos
- ☐ **Time** | Bimensuel | 13 nos

ACTUALITÉ GÉNÉRALE

- ☐ **Le Monde Sélection hebdomadaire** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Alternatives Economiques** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Le 1** | Hebdomadaire | 39 nos
- ☐ **Society** | Bimensuel | 24 nos
- ☐ **L'Obs** | Hebdomadaire | 26 nos
- ☐ **Politis** | Hebdomadaire | 18 nos
- ☐ **La Croix Campus** | Mensuel | 10 nos

CULTURE GÉNÉRALE

- ☐ **Sciences Humaines** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'éléphant** | Trimestriel | 3 nos
- ☐ **Zadig** | Trimestriel | 3 nos

DÉBATS

- ☐ **L'Economie politique** | Trimestriel | 6 nos
- ☐ **Études** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **La Revue des Deux Mondes** | Mensuel | 6 nos
- ☐ **Le Drenche** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Futuribles** | Bimestriel | 3 nos

SCIENCES

- ☐ **Sciences et Avenir** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double + 4 hors-séries
- ☐ **Science & Vie** | Mensuel | 12 nos + web illimité
- ☐ **Sport & Vie** | Bimestriel | 6 nos + 2 hors-séries

HISTOIRE ET GÉOGRAPHIE

- ☐ **Histoire & Civilisations** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **L'Histoire** | Mensuel | 10 nos + 1 n° double
- ☐ **Histoire de l'Antiquité à nos jours** | Bimestriel | 6 nos + 3 hors-séries
- ☐ **Population & Avenir** | Bimestriel | 7 nos
- ☐ **La Revue Urbanisme** | Trimestriel | 6 nos

ART ET PASSION

- ☐ **Beaux Arts magazine** | Mensuel | 10 nos + l'accès au digital
- ☐ **Connaissance des arts** | Mensuel | 8 nos
- ☐ **L'Objet d'art** | Mensuel | 11 nos
- ☐ **Polka** | Trimestriel | 8 nos
- ☐ **Télérama** | Hebdomadaire | 21 nos
- ☐ **So Foot** | Mensuel | 10 nos

2. TOTAL DE MA COMMANDE

- Merci de vérifier si vous avez coché la ou les revues souhaitée(s).

☐ 1 abonnement → 39 € ☐ 3 abonnements → 99 €
☐ 2 abonnements → 69 € ☐ autre (30 € par abonnement supplémentaire), soit ____ abonnements → Total _____ €

3. MES COORDONNÉES - Merci d'écrire en majuscule.

☐ M ☐ Mme Nom _____

Prénom _____

Adresse (France métropolitaine seulement) _____

_____

Code Postal |_|_|_|_|_| Ville _____

Email _____

J'accepte de recevoir par email des offres de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

J'accepte de recevoir par email des offres des partenaires de Rue des Etudiants ☐ oui ☐ non

4. JE RÈGLE LA SOMME DE

☐ 39€ ☐ 69€ ☐ 99€ ☐ autre montant _____ €

par chèque à l'ordre de *Rue des Etudiants*

Je certifie être étudiant(e) ☐ Filière _____

Année d'étude _____

En retournant ce formulaire, vous acceptez que *Rue des Etudiants*, responsable de traitement, utilise vos données pour les besoins de votre commande, de la relation Client et d'actions commerciales. Pour connaître les modalités de traitement de vos données et d'exercice de vos droits (accès, rectification, effacement, opposition, portabilité, limitation des traitements, sort des données après décès), consultez notre politique de confidentialité à l'adresse http://www.ruedesetudiants.com/ ou écrivez à notre DPO – 67/69 avenue Pierre-Mendès France - 75013 Paris ou dpo@groupelemonde.fr.

Offre valable jusqu'au 30 juin 2022

Abonnez-vous encore plus vite et découvrez nos offres numériques sur **ruedesetudiants.com**

Les pouvoirs méconnus de l'appendice

Ce que Darwin décrivait comme un « vestige insignifiant » serait en réalité très important pour la longévité, le système immunitaire et même pour la détection de la maladie de Parkinson. Les dernières découvertes sur l'appendice ouvrent la voie à la réhabilitation de ce petit organe trop longtemps délaissé.

Les mammifères qui possèdent un appendice vivent plus longtemps que les autres animaux de même taille ! Voilà l'étonnante conclusion à laquelle est parvenue cet été une équipe de l'Inserm et du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) dans une étude publiée dans le *Journal of Anatomy*. Ce petit organe en forme de ver accroché à l'intestin est ainsi peut-être à l'aube d'une réhabilitation après avoir longtemps été perçu comme une annexe inutile au système digestif. En 1871, le naturaliste britannique Charles Darwin l'a même décrit comme un « *vestige insignifiant* », reste oublié d'un « véritable » organe qui aurait rapetissé lorsque nos ancêtres ont changé de mode de vie. Le père de la théorie de l'évolution avait en effet proposé que cet organe aurait été autrefois important pour digérer une alimentation riche en fibres. Comme chez certains animaux herbivores tels que le cheval qui ont un *cæcum* (la première partie du côlon) très large, où des bactéries permettent d'assimiler la cellulose. Et qu'il serait devenu inutile lorsque nos ancêtres ont adopté un régime alimentaire plus varié.

L'appendice est aussi considéré comme potentiellement dangereux. Il est ainsi ôté au moindre signe d'inflammation, ce que l'on appelle couramment l'appendicite. Les médecins savent en effet que celle-ci peut s'avérer fatale quand l'appendice est perforé, entraînant des péritonites (inflammation de la membrane qui recouvre les organes, le péritoine) et des inflammations systémiques (sepsis). Si le Français Claudius Amyand fut le premier à réaliser avec succès une appendicectomie en 1735, cette opération ne devient la norme qu'un siècle et demi plus tard, après que le chirurgien américain Charles McBurney eut décrit l'opération en détail. Pourtant, aujourd'hui, le recours systématique à la chirurgie est remis en cause. En effet, toutes les appendicites ne sont pas fatales, et un traitement par antibiotiques est une alternative efficace dans certains cas *(lire l'encadré p. 77)*. Surtout, les scientifiques se demandent si l'appendice ne jouerait pas un rôle encore inconnu.

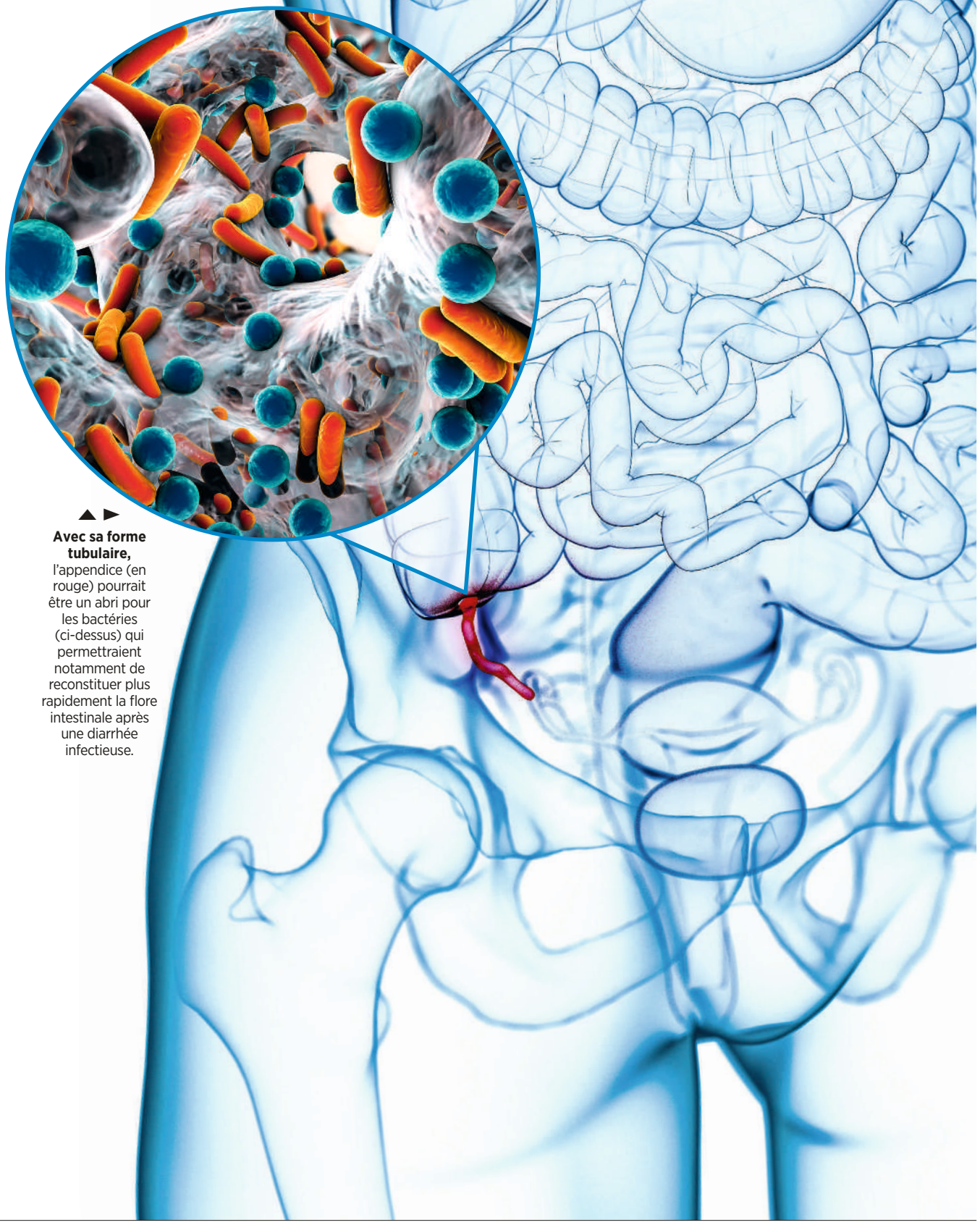
ÉRIC OGIER-DENIS

« L'inflammation de l'appendice éduque les lymphocytes du côlon, créant une mémoire immunitaire »

Éric Ogier-Denis, chercheur à l'Inserm, spécialiste des maladies inflammatoires de l'intestin

Un organe apparu plusieurs fois au cours de l'évolution

On sait que l'évolution tend à éliminer ce qui est inutile, or cet organe est toujours présent dans un grand nombre de mammifères. Mieux, le paléontologue du MNHN Michel Laurin (*lire p. 76)* a confirmé cette année une découverte qu'il avait faite en 2013 : le petit organe est apparu à plusieurs reprises de façon indé-



▲ ►
Avec sa forme tubulaire, l'appendice (en rouge) pourrait être un abri pour les bactéries (ci-dessus) qui permettraient notamment de reconstituer plus rapidement la flore intestinale après une diarrhée infectieuse.

PHANIE

pendante au cours de l'évolution. Avec donc certainement un bénéfice à la clé. Depuis lors, le scientifique s'est échiné à débusquer le lien caché entre les animaux dotés d'un appendice. Sans succès. Jusqu'à ce qu'un spécialiste des maladies inflammatoires de l'intestin, le chercheur de l'Inserm Éric Ogier-Denis, lui propose d'étudier la longévité de ces animaux. Il se base sur la théorie du vieillissement du biologiste britannique George Williams, qui proposa en 1957 qu'une diminution du risque de mortalité retarde le vieillissement et augmente la longévité. Selon cette théorie, lorsque la mortalité chez une espèce est élevée, il y a trop peu d'individus qui atteignent un âge avancé, donc la sélection naturelle a trop peu de possibilités de favoriser des allèles protecteurs contre le vieillissement. « *J'ai eu l'idée de regarder le lien entre appendice et longévité parce que l'on commence à voir que chez l'humain, l'appendice joue un rôle dans l'immunité : par exemple, les personnes qui ont eu une appendicite ne font pas de rectocolite* [maladie inflammatoire chronique intestinale] *car cette inflammation ponctuelle va entraîner l'immunité du système digestif,* révèle Éric Ogier-Denis. *Mais ceux à qui on a retiré l'appendice ont une plus grande susceptibilité aux infections intestinales par les bactéries pathogènes* Clostridioides difficile. » Ce lien entre l'appendice et le système immunitaire a été confirmé récemment grâce à une étude coréenne publiée le 16 février dans l'*International Journal of Colorectal Disease* qui a suivi tous les adultes à qui on a retiré l'appendice en Corée entre 2005 et 2013. Ces personnes avaient un risque plus élevé de développer la maladie de Crohn ainsi que des rectocolites hémorragiques, deux pathologies qui entraînent une inflammation chronique de l'intestin.

SPL/SUCRÉ SALÉ

L'ablation chirurgicale de l'appendice enflammé est l'intervention d'urgence la plus fréquente en France.

Les chercheurs du MNHN et de l'Inserm ont étudié 258 espèces de mammifères pour lesquels ils disposaient d'informations sur la longévité et la masse corporelle. « *On sait qu'il y a une corrélation*

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

MICHEL LAURIN PALÉONTOLOGUE AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, À PARIS

« Un avantage sélectif pousse vers l'émergence de l'appendice »

« En étudiant l'histoire phylogénétique de 317 espèces, représentant toutes les lignées des mammifères, nous avons mis en évidence que l'appendice est apparu au moins 16 fois au cours des derniers 80 millions d'années, dans des lignées très variées, contre une seule disparition. Cette asymétrie entre apparition et disparition montre que les gains sont plus probables que les pertes, c'est-à-dire qu'il y a un avantage sélectif qui pousse vers l'émergence de cet organe. Grâce à cette étude, nous avons prouvé pour la première fois cet avantage évolutif, montrant que l'appendice est important pour la longévité. Même si on ne sait pas encore pourquoi celui-ci est apparu chez ces espèces, car elles n'ont rien en commun : ni leur régime alimentaire, ni leur habitat ou leur vie sociale… C'est très étrange ! Aussi j'étais assez sceptique quand Éric Ogier-Denis de l'Inserm a proposé d'étudier le lien avec la longévité, parce qu'on avait essayé à plusieurs reprises avec d'autres facteurs sans rien trouver. Je n'avais pas beaucoup d'espoir. Mais en science on ne sait jamais à l'avance ce que l'on va trouver. Et pour la première fois de ma carrière, j'ai eu l'opportunité de contredire Darwin!" ■

Propos recueillis par N. G. C.

SPL/SUCRÉ SALÉ

entre le poids et la longévité : grossièrement, plus on est grand, plus on vit longtemps », explique Éric Ogier-Denis. Donc, des animaux de masse corporelle similaire devraient avoir une longévité semblable. Or, les mammifères dotés d'un appendice vivent plus longtemps que ceux de même masse mais dépourvus de cet organe.

Chacun ferait plusieurs appendicites dans sa vie

Pour expliquer ces résultats, les auteurs proposent que l'appendice puisse protéger des diarrhées infectieuses, une cause majeure de mortalité chez les mammifères — en particulier l'humain puisqu'elles sont la deuxième cause mondiale de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS). « *On imagine que les animaux dotés d'un appendice ont une plus grande capacité de recoloniser l'intestin après une diarrhée infectieuse, car l'appendice est protégé par sa forme de ver et les bactéries à l'intérieur n'y sont pas touchées lors de l'infection. À partir de ce sanctuaire, elles peuvent permettre à l'intestin de refaire son microbiote* », spécule Éric Ogier-Denis.

Autre piste : le petit organe pourrait renforcer l'immunité. « *Même si on ne comprend toujours pas ce qui cause l'appendicite, on a observé qu'elle active le système immunitaire,* poursuit le spécialiste. *Il y a une relation forte entre l'appendice et le côlon : l'inflammation de l'appendice éduque les lymphocytes du côlon, créant une mémoire immunitaire qui protégera ensuite l'intestin.* »

Faut-il aller jusqu'à conclure de ces travaux que les personnes à qui on a retiré l'appendice vivront moins longtemps ? « *Non !* rassure tout de suite Éric Ogier-Denis. *Les patients opérés à la suite d'une appendicite ont pu quand même profiter de l'entraînement immunitaire généré par cette inflammation. Surtout, je pense que chacun fait plusieurs appendicites dans sa vie et que la majorité d'entre elles se soignent toutes seules, permettant l'acquisition d'une tolérance par l'inflammation, renforçant ainsi l'immunité !* »

Une implication dans la maladie de Parkinson

Cette réhabilitation de l'appendice a néanmoins des limites. Car les scientifiques lui ont aussi découvert une face sombre. Ainsi, selon une étude publiée le 26 août dans la revue *Nature Communications*, il semblerait qu'il soit impliqué dans la survenue de la maladie de Parkinson qui aurait une origine dans cet organe. Des modifications épigénétiques (c'est-à-dire non pas sur le code génétique lui-même mais sur la façon dont il s'exprime) perturberaient la dégradation de macromolécules. En particulier des alpha-synucléines qui vont s'agréger pour migrer vers le cerveau et déclencher la maladie. « *Ces molécules s'accumulent aussi dans les appendices de personnes saines, mais ces changements épigénétiques font que chez certaines d'entre elles cette accumulation est mal gérée, causant la pathologie,* explique Juozas Gordevicius, bioinformaticien à l'université de Vilnius (Lituanie) et auteur de l'étude. *Il est probable que cette différence est causée par un excès d'inflammation dans le système digestif, qui s'accentue avec le vieillissement. Mais on ne sait pas encore pourquoi certains vont déclencher ce processus.* »

Inutile néanmoins d'envisager de couper l'appendice pour se protéger de Parkinson : « *Cela ne serait sans doute pas efficace, parce qu'il est probable que cette accumulation survient aussi à d'autres endroits du système digestif,* avertit le chercheur. *Au contraire, l'appendice pourrait nous permettre de déceler les personnes chez qui ces problèmes épigénétiques émergent et qui ont donc un risque plus élevé de développer la maladie de Parkinson, car on estime que ces modifications sont observables dix à vingt ans avant le début de la maladie. Sans l'appendice, ce diagnostic précoce ne sera pas possible.* » Un argument de plus pour dire que non, cet organe n'a rien d'insignifiant. ■

Nicolas Gutierrez C. @n6g6c

THÉRAPEUTIQUE

Les antibiotiques, une alternative à la chirurgie

Pendant plus de 120 ans, le dogme médical voulait que l'appendicite nécessite toujours une appendicectomie. Au point que cette chirurgie est devenue l'intervention d'urgence la plus fréquente (environ 80 000 par an en France). Pourtant, on sait aujourd'hui qu'environ 70 % des appendicites ne causeront pas de perforation et ne présenteront pas de risque de péritonite. L'équipe de la chirurgienne Paulina Salminen de l'université de Turku, en Finlande, a montré dans une série d'essais cliniques que des antibiotiques sont suffisants pour traiter la majorité des appendicites. Encore faut-il un bon diagnostic pour identifier les cas compliqués qui nécessitent une chirurgie. Ce qui est possible avec la tomodensitométrie, une technique d'imagerie déjà disponible dans un grand nombre d'hôpitaux.

Les graines ne manquent pas de croquant

Riches en vitamines et en fibres, à déguster entières ou à saupoudrer sur les aliments, elles se consomment au quotidien, mais avec précaution car certaines peuvent être allergisantes.

Lin, courge, sésame, chia… Ces dernières années, les graines se sont hissées au rang des aliments *healthy*, c'est-à-dire considérés comme sains. Celles de chia, issue de la famille des sauges, font même figure de « superaliment » en raison de leur teneur en fibres et en oméga-3. Les graines destinées à assurer les besoins de la future plante sont en effet très nutritives et gagnent à être intégrées dans notre alimentation quotidienne, saupoudrées sur une salade ou une viande. Mais toujours avec précaution, car certaines sont des allergènes alimentaires. Il est également préférable de vérifier leur provenance. En 2020, les autorités belges avaient détecté dans des graines de sésame importées d'Inde des résidus d'oxyde d'éthylène, un produit phytosanitaire classé CMR (cancérogène, mutagène et reprotoxique), donnant lieu à des rappels de produits en Europe (1). Mieux vaut aussi les choisir non salées et non grillées pour préserver leurs acides gras. Certaines (courge, lin) pouvant rancir avec le temps, il vaut mieux les mettre au frais. Pour les autres, un récipient hermétique à température ambiante suffira.

Elles apportent divers minéraux et vitamines

Consommer des graines apporte du magnésium (364 mg/100 g de tournesol), du phosphore (774 mg/100 g de sésame), du potassium (710 mg/100 g de pavot). Pavot et nigelle sont des sources de calcium (respectivement 1440 mg/100 g et 570 mg/100 g). Les graines de sésame, pavot et lin sont riches en zinc (9 mg/100 g de pavot, 10,2 mg/100 g de sésame), bon pour le système immunitaire, et en fer (9,58 mg/100 g de pavot, 10,2 mg/100 g de lin). Les graines renferment aussi des vitamines du groupe B (anis) et A (graine de moutarde). Une cuillère à soupe (15 g) de graines de tournesol fournit près de 50 % des apports quotidiens en vitamine E (2).

87 kcal

sont apportées par une cuillère à soupe (15 g) de graines de tournesol, 86 kcal pour la courge, 80 kcal pour le lin, 72 kcal pour le chia et 51 kcal pour les graines de nigelle.

(SOURCE : UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, USDA.)

Les moudre les rend plus digestes

Les graines d'anis ou de fenouil facilitent la digestion, réduisent les ballonnements et contribuent à l'expulsion des gaz intestinaux (3). Toutefois, les téguments (enveloppe) de certaines graines (lin,

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR - LA RECHERCHE

LIGNANE Composé phénolique antioxydant qui aurait une faible action œstrogénique, en raison de sa structure apparentée à celle des hormones féminines.

ACIDE PHYTIQUE Biomolécule présente dans l'enveloppe des graines de céréales et de légumineuses. Dans le cycle végétatif, elle a pour rôle d'empêcher une germination trop précoce et constitue une défense naturelle contre les prédateurs du grain.

ACIDE AMINÉ Constituant des protéines au nombre de 20, dont neuf dits essentiels (tryptophane, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, valine, leucine, isoleucine et histidine) doivent être apportés par l'alimentation.

Graines de chia

fenouil…) étant assez fermes, il est préférable de les consommer moulues ou concassées afin qu'elles soient plus digestes. Les graines oléagineuses (sésame, courge, tournesol…) peuvent aussi être germées afin de les débarrasser de l'acide phytique, un inhibiteur enzymatique, qui diminue la biodisponibilité des minéraux (calcium, magnésium, zinc et fer) auxquels il se lie et entrave leur absorption par l'organisme. Réhydratée, la graine libère alors une enzyme, la phytase, qui dégrade l'acide phytique et augmente la biodisponibilité des minéraux.

Peu de grammes apportent beaucoup de fibres

Une cuillère à soupe (15 g) de graines de fenouil fournit 6 g de fibres, 5 g pour le chia et 4 g pour le lin. Elles contribuent ainsi à couvrir les 25 à 30 g recommandés chaque jour par le Programme national nutrition santé (4). Les fibres régulent le transit, améliorent la glycémie et ralentissent l'absorption des graisses. Leur consommation entraîne également une diminution du poids, de la pression artérielle systolique et du cholestérol total. Des travaux montrent chez les plus gros consommateurs de fibres (au moins 30 g par jour), une diminution de 15 à 30 % de la mortalité toutes causes confondues, ainsi qu'une réduction de 16 à 24 % de maladie coronarienne, d'AVC, de diabète de type 2 et de cancer colorectal (5).

Le lin est bon pour le cœur

Les graines de chia sont plébiscitées pour leur richesse en acide linolénique (ALA) (17,8 g/100 g), un acide gras polyinsaturé de type oméga-3 associé à une réduction des risques cardio-vasculaires. Les graines de lin en apportent aussi de belles quantités (16,7 g/100 g). Chez des patients cardiaques, en consommer 30 g par jour pendant 12 semaines pourrait améliorer sensiblement la dilatation des artères et diminuer les marqueurs de l'inflammation (protéine C-réactive, interleukine 6, TNF-alpha, etc.) (6). En outre, les graines de sésame et de lin sont une source importante de lignanes (respectivement 373 mg/100 g et 335 mg/100 g), lesquels pourraient contribuer à réduire le risque cardio-vasculaire (7).

Certaines sont très allergisantes

La présence de graines de sésame dans les produits industriels est à déclaration obligatoire au niveau de l'étiquetage. Pourtant ce ne sont pas les seules à pouvoir provoquer des réactions allergiques. Le Réseau d'allergo-vigilance français rapporte des cas chez l'enfant et l'adulte lors de la consommation de graines de tournesol, courge, lin, amarante, millet, sarrasin et quinoa (8). Des réactions croisées sont possibles entre aliments, comme les graines de sésame et le kiwi mais aussi entre aliments et pollens. Exemples : l'armoise, responsable d'allergie respiratoire et les graines de carvi et d'anis ou le pollen de bouleau avec les graines de tournesol. Il faut donc redoubler de vigilance lorsqu'on est sensible à l'un de ces allergènes. ■ **Sylvie Boistard** @syboistard

ÉMILIE ELSTOB Diététicienne-nutritionniste à Nantes

Des apports complémentaires en protéines et en lipides

« Les graines oléagineuses sont assez protéinées, même si on n'en consomme que de petites quantités. Une cuillère à café (5 g) de lin, de pavot, de tournesol, de sésame en fournit 1 à 1,5 g, ce qui contribue aux besoins quotidiens, sans apporter toutefois tous les acides aminés essentiels comme c'est le cas pour les protéines animales. En parsemer sur une salade ou un muesli oblige également à mastiquer davantage ce qui permet d'être plus rapidement rassasié. Les graines sont aussi intéressantes pour leurs apports en minéraux (fer, calcium, magnésium) et en lipides. »

(1) Défaillance des contrôles aux importations : l'exemple du sésame, Duplomb L., rapport du Sénat, 2021.

(2) Table nutritionnelle Ciqual, Anses.

(3) Anise (*Pimpinella anisum L.*), a dominant spice and traditional medicinal herb for both food and medicinal purposes, Sun W. et al, *Cogent Biology*, 2019.

(4) Étude de santé sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition (Esteban), Santé publique France, 2018.

(5) Carbohydrate quality and human health : a series of systematic reviews and meta-analyses, Reynolds A. et al, *The Lancet*, 2019.

(6) Effect of flaxseed consumption on flow-mediated dilation and inflammatory biomarkers in patients with coronary artery disease, Khandouzi N. et al, *European Journal of Clinical Nutrition*, 2019.

(7) Intakes of 4 dietary lignans and cause-specific and all-cause mortality in the Zutphen Elderly Study, Milder I. et al, *The American Journal of Clinical Nutrition*, 2006.

(8) Allergie aux graines : revue de la littérature, Nemni A. et al, *Revue française d'allergologie, 2021.*

Entretien avec...

Un schéma thérapeutique pour chaque diabétique

Philippe Froguel, professeur au CHU de Lille et à l'Imperial College de Londres, est un généticien de classe mondiale du diabète et de l'obésité.

Quels sont les différents types de diabète ?

Le diabète est un trouble de l'assimilation, de l'utilisation et du stockage des sucres apportés par l'alimentation. Cela se traduit par des hyperglycémies, des excès de sucre dans le sang. C'est l'insuline, fabriquée par le pancréas, qui équilibre la glycémie. Environ 90 % des diabétiques sont de type 2, un diabète dû à une production insuffisante et à une mauvaise utilisation de l'insuline par les cellules de l'organisme. En grande partie héréditaire, il se développe lentement, en lien avec le surpoids, la sédentarité et le vieillissement. Le diabète de type 1, dû à une absence de sécrétion d'insuline par le pancréas, touche surtout enfants, adolescents et jeunes adultes, de plus en plus jeunes. Quant aux diabètes monogéniques (entre 2 et 5 % des cas), ils sont liés à la mutation d'un seul gène et induisent des troubles de sécrétion de l'insuline à début souvent très précoce.

Comment traite-t-on les diabétiques de type 2 ?

D'abord par des mesures hygiéno-diététiques (régime alimentaire et activités sportives) et lorsque cela ne suffit pas, avec des médicaments comme la Metformine qui modifie le microbiome intestinal. En général, au bout de quelques années, il faut faire appel à d'autres médicaments qui font sécréter de l'insuline ou éliminent le sucre dans les urines. Ce dernier traitement, disponible en France depuis six mois, s'est même révélé être un excellent traitement préventif des complications rénales et cardio-vasculaires du diabète. En dernier recours, il faut des injections d'insuline.

De quelles façons ?

En France, depuis 20 ans, la plupart des patients utilisent des stylos à insuline, ce qui permet des injections plus simples qu'avec une seringue. De plus en plus de patients se tournent vers des pompes à insuline qui délivrent l'insuline en continu au moyen d'un cathéter sous la peau. Dans ces deux cas, il faut toujours mesurer son taux de glycémie plusieurs fois par jour. Enfin, on voit apparaître des « pancréas artificiels » où cette pompe à insuline est asservie par un algorithme qui évalue les besoins d'insuline à partir des mesures de glucose fournies en continu grâce à un patch sous la peau. C'est une vraie révolution et la France est en pointe. Cela va nettement améliorer la vie des diabétiques insulinodépendants.

Quid de la médecine personnalisée que vous préconisez ?

On l'applique déjà pour les diabètes monogéniques pour lesquels on a trouvé la mutation. Pour certains patients, cela permet d'arrêter les injections d'insuline, pour d'autres, d'utiliser des médicaments comme les sulfamides hypoglycémiants. Parfois aussi, le séquençage du génome révèle d'autres anomalies génétiques, on met alors en place un suivi *ad hoc*. D'ici dix ans, la génétique et l'analyse du microbiome permettront également de personnaliser les traitements des diabètes communs : chacun aura son schéma thérapeutique selon son diabète et ses risques de complication.

Peut-on prévenir la survenue d'un diabète ?

Bien sûr ! Beaucoup de programmes de prévention par l'alimentation et l'activité physique sont menés et c'est très efficace à court terme... mais rarement suivi ensuite. Le gouvernement a aussi un rôle à jouer en incitant les entreprises agroalimentaires à diminuer le sucre dans leurs produits, notamment les sodas. Enfin, le dépistage intervient souvent trop tard ; le diabète passe inaperçu car il ne fait pas mal... alors que de simples prises de sang suffisent à le déceler. ■

Une maladie emblématique de notre civilisation et du vieillissement de la population

En 2019, le diabète affectait plus de 463 millions de personnes dans le monde : c'est la première pandémie de maladies non contagieuses. Son évolution suit de manière linéaire celle de l'obésité et du vieillissement de la population. Ce n'est plus une maladie des seuls pays riches : l'Asie, notamment la Chine ou encore l'Afrique, sont désormais touchées. **En 2045, le diabète pourrait affecter 700 millions de personnes**. La France compte environ **5 millions de cas** avec un plus fort taux au nord qu'au sud.

Source : Fédération internationale du diabète (FID) - 9e édition de son Atlas du diabète (2019)

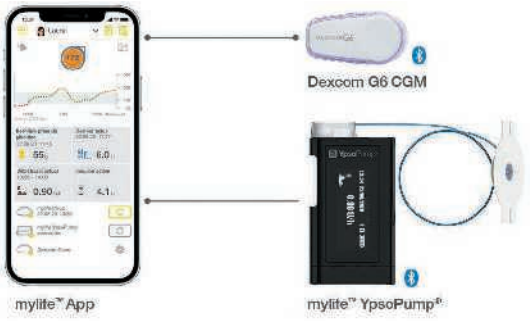
Dossier réalisé par DUOMEDIAS.
Gilles Baron 06 82 84 11 02 – gbaron@duomedias.fr
Rédaction : Lise Dabel – Maquette : Sylvie Bisson

YPSOMED

Des patients de plus en plus autonomes dans la gestion de leur diabète

Les diabétiques peuvent surveiller leur taux de glucose en continu et bientôt commander leur pompe à insuline *via* leur smartphone. Un pas de plus vers l'autonomie et une meilleure qualité de vie.

Les systèmes semi-automatisés de délivrance d'insuline, également appelés systèmes hybrides car ils nécessitent encore l'intervention du patient, permettent de limiter les prélèvements au bout du doigt, de surveiller le taux de glucose et d'ajuster les injections d'insuline. Ils comportent trois équipements communiquant ensemble en Bluetooth : un dispositif de mesure en continu du glucose (MCG), un petit patch avec un capteur sous la peau qui mesure le taux de glucose toutes les cinq minutes ; une pompe à insuline reliée à un cathéter sous la peau ainsi qu'une application sur smartphone pour gérer ces deux équipements.



Ypsomed, précurseur des pompes à insuline et Dexcom, premier fournisseur mondial de systèmes MCG développent ensemble un tel système hybride. Depuis septembre en Allemagne, en Suisse, en Autriche et au Danemark et bientôt en France, l'application mylife™ Assist* d'Ypsomed est téléchargeable. Elle réunit, en une seule application, les données du capteur et de la pompe. Le patient est alerté lorsque ses valeurs de glucose sont trop élevées ou trop basses et l'application lui suggère des ajustements d'injections d'insuline.

Prochaine étape : début 2022, *via* cette même application il pourra commander directement sa pompe pour ajuster ses injections en fonction de ses données glycémiques et de son analyse de besoins, comme lors de repas ou d'activités physiques. À terme, une intelligence artificielle l'accompagnera dans cette analyse. ■

**mylife™ Assist: L'innovation décrite est disponible dans certains pays et sera bientôt étendue à d'autres pays. L'expansion dépend de l'approbation réglementaire locale.*

Centre européen d'étude du Diabète

Le CeeD en première ligne pour la prévention et le traitement du diabète

Entretien avec le Pr Michel Pinget, président-fondateur du Centre européen d'étude du Diabète (CeeD), créé il y a 30 ans à Strasbourg.

La dernière start-up du CeeD lancée fin 2020, ILONOV, est lauréate du concours d'innovation i-Lab[1]. Que propose-t-elle ?
ILONOV, notre troisième start-up, développe la première biothérapie curative des diabètes grâce à notre découverte, brevetée en 2020, du potentiel d'une hormone émise par le muscle, la Myokine X, qui agit directement sur le pancréas. Ce nouveau médicament permettra de traiter et de prévenir les diabètes. ILONOV est en train de lever 1,5 million d'euros pour lancer une phase préclinique. Ceci nous mènera vers des essais cliniques, notamment pour la greffe d'îlots de Langerhans et la prévention du diabète pour les personnes prédisposées et les sujets âgés.

Il y a un an, vous avez créé le premier centre de santé en France dédié à la prévention et à l'accompagnement de diabétiques et malades chroniques. Où en êtes-vous ?
Cinq mille patients sont suivis à l'Institut Prévention Santé Diabète Grand Est (IPSDE), surtout des diabétiques de type 2 qui ont un suivi moins régulier. Notre but est de leur proposer toutes les innovations récentes pour qu'ils soient les plus autonomes possible, ainsi qu'une prise en charge personnalisée *via* l'éducation thérapeutique du patient, la télémédecine et l'activité physique adaptée.

Qu'en est-il de la Maison Sport-Santé que vous venez d'ouvrir ?
On y propose aux diabétiques de nouvelles pratiques d'activité physique, car nous avons prouvé que le muscle sécrète de la Myokine X en réponse à l'exercice[2]. On sait désormais que, pour favoriser cette sécrétion, il faut privilégier les exercices de résistance, notamment des membres supérieurs, plutôt que ceux d'endurance. ■

© CeeD

L'équipe dirigeante d'ILONOV : Dr Karim Bouzakri (Président), Dr Anastasia Grabarz (Directrice Générale) et Pr Michel Pinget (Directeur Médical).

(1) Concours organisé par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation avec Bpifrance.
(2) Angiogenin and Osteoprotegerin are type II muscle specific myokines protecting pancreatic beta-cells against proinflammatory cytokines, Scientific Reports, Sabine Rutti and all, 2018.

L'énigmatique civilisation de l'Oxus se dévoile

Il y a 3500 ans, en Asie centrale, s'éteignait la civilisation de l'Oxus. Quelles étaient ces populations de l'âge du bronze ? Comment leurs riches cités ont-elles disparu ? Les résultats des fouilles archéologiques menées par une équipe franco-turkmène apportent de premiers éléments de réponse.

Par Bernadette Arnaud

@NarudaaArnaud

KENNETH GARRETT

Avec ses temples et palais, la ville de Gonur dépé, aujourd'hui au Turkménistan, a sans doute été la capitale de la civilisation de l'Oxus.

Six découvertes majeures attestent la richesse de cette civiisation méconnue

▲ **Cette figurine en argile** délicatement gravée a été mise au jour à Gonur dépé, (première moitié du IIIe millénaire avant J-C.).

► **Cette statuette** en chlorite et calcaire représente une une divinité féminine (IIIe millénaire avant J.-C.).

Ce collier de perles en lapis-lazuli et or provient d'une tombe de la nécropole de Gonur dépé (fin du IIIe, milieu du IIe millénaire avant J.-C.).

Ce vase en agate (Ulug dépé,Turkménistan), cette **coupe en or** (Tepe Fullol, Afghanistan) et ce **gobelet en pierre** (Gonur dépé, Turkménistan) témoignent du savoir-faire exceptionnel des artisans et du haut niveau technologique de cette civilisation à l'âge du bronze.

PHOTOS : H. KOELBL/ASHGABAT NATIONAL MUSEUM OF HISTORY - C. LARRIEU / MUSÉE DU LOUVRE, RMN-GRAND PALAIS - H. KOELBL/ ASHGABAT NATIONAL MUSEUM OF HISTORY - DAFA, MUSÉE NATIONAL DE KABOUL - H. KOELBL/ASHGABAT NATIONAL MUSEUM OF HISTORY - MAFTUR

Dans cette région isolée du Turkménistan, des dromadaires sont parfois aperçus au pied d'un immense tertre. Mâchouillant de rares touffes d'herbes, ils font depuis longtemps partie du paysage. Ressemblant d'ailleurs à la bosse d'un de ces camélidés assoupis, le tertre de la « Grande Colline », Ulug dépé, écrase de son relief trapu la plaine désertique située à 175 km au sud-est d'Achgabat, la capitale du pays. Aujourd'hui occupé à 80 % par le désert du Karakoum, ce pays d'Asie centrale mal connu des Occidentaux a vu éclore d'importantes civilisations. À l'instar de la mystérieuse civilisation de l'Oxus. Baptisée de l'ancien nom du fleuve Amou-Daria, celle-ci s'est développée pendant 800 ans à la fin du IIIe millénaire, entre 2300 et 1500 avant J.-C. entre le plateau iranien, la mer Caspienne et le massif montagneux de l'Hindu Kuch, au nord de l'Afghanistan. Elle a été découverte dans les années 1970, avec notamment l'identification de la ville royale de Gonur dépé, sans doute sa capitale. Dans les années 1980, d'autres cités appartenant à cette même civilisation ont été révélées par des travaux de chercheurs soviétiques : Altyn dépé (Turkménistan), Dzharkutan (Ouzbékistan) ou encore Dashly (Afghanistan).

Ces découvertes ont permis de brosser un premier portrait de cette civilisation baptisée dans un premier temps, du peu poétique nom « complexe archéologique bactro-margien », en référence à la région, par son découvreur, l'archéologue russe Viktor Sarianidi (1929-2013). Une société sédentaire d'agriculteurs et d'éleveurs qui s'était initialement développée dans des villages en briques

BRUNO BOURGEOIS

crues, construits sur de vastes terres fertiles le long des grands fleuves de l'Asie centrale, où les habitants élevaient des bovidés, des ovins, des caprins, des équidés, des dromadaires et pratiquaient l'irrigation.

Un trésor mobilier aussi riche que celui de Mésopotamie

Mais quelles étaient les origines de cette civilisation ? Et pourquoi ses cités florissantes, occupées à l'âge du bronze par des milliers d'habitants, ont soudain laissé place à des habitats plus modestes ? Pour tenter de répondre à ces questions, les spécialistes se sont intéressés aux deux principales régions favorables à des installations humaines : la zone de la Margiane, au nord-est du Turkménistan, et celle s'étirant au pied des monts du Kopet-Dagh, berceau d'Ulug dépé. Cet imposant site de 30 m de haut possède en effet un avantage exceptionnel pour un archéologue : il a été occupé sans interruption depuis la fin du néolithique (5000 avant J.-C.) jusqu'à l'âge du fer moyen (VIe siècle avant J.-C.) et plus tardivement jusqu'aux époques hellénistique et parthe (IIIe siècle avant J.-C.-Ier siècle).

Et c'est là qu'évolue depuis bientôt vingt ans, sur une quinzaine d'hectares, la Mission archéologique franco-turkmène (Maftur) que dirige Julio Bendezu-Sarmiento. Ex-directeur de la Délégation archéologique française en Afghanistan (Dafa), ce chercheur d'origine péruvienne est aujourd'hui chargé de recherches au sein de l'équipe éco-anthropologie du CNRS (UMR 7206). « *L'accumulation exceptionnelle des couches archéologiques rencontrées à Ulug dépé est un phénomène unique,* explique-t-il. *En un seul lieu il est possible d'embrasser 5000 ans d'occupation humaine ! Les fouilles menées depuis 2001 nous ont permis de livrer des restes de bâtiments palatiaux, des entrepôts, une citadelle, des remparts, et surtout des tonnes de céramiques et d'objets en métal, pierre, bois et des textiles. Des vestiges que l'on rencontrait à la même époque dans les cités de Mésopotamie et dont on pensait qu'elle était*

ZOROASTRISME

Des dépouilles à l'air libre pour ne pas souiller le sol

Le zoroastrisme, du « prophète » Zarathoustra dont il tire le nom, aurait interdit l'inhumation des corps. Accusées de souiller le sol, les dépouilles en décomposition étaient laissées à l'air libre pour être dévorées par les charognards. Une vision qui avait horrifié Alexandre le Grand lors de son arrivée dans l'actuel Afghanistan au IVe siècle avant J.-C. Un texte du géographe Strabon au Ier siècle avant notre ère, raconte à quel point, atteignant Bactres (l'actuelle Balkh), le conquérant macédonien avait été révulsé par le spectacle d'ossements humains que se disputaient des chiens… Alexandre fit interdire ces pratiques. En Asie centrale, les enterrements ne sont réapparus qu'après la conquête hellénistique.

la seule région à en posséder ! »
Dans les plus anciennes couches d'Ulug dépé, celles correspondant à l'âge du bronze (IIIe millénaire avant J.-C.), en même temps que de grands édifices palatiaux et leurs terrasses à usage cultuel, les productions (céramique, métallurgique, travail de la pierre) étaient d'un haut niveau technologique, dessinant une société proto-urbaine sophistiquée. Des grandes portes en briques crues donnaient accès à un réseau de rues intérieures formant de vastes quartiers avec des palais et des plates-formes élevées surmontées de temples, et de tombes de l'élite. « *Le tout témoignait d'une société fortement hiérarchisée, avec sans doute un système de vassalité de cités plus petites* », précise l'archéologue.

Une ville fortifiée unique en Asie centrale

Mais à la fin de l'âge du bronze, vers 1700-1750 avant J.-C., des signes de crises apparaissent dans l'urbanisation. La civilisation de l'Oxus, constituée de petits royaumes, a commencé à s'étioler. L'ensemble de la zone méridionale de l'Asie centrale a vu arriver et s'installer de nouvelles populations. « *Nous avons alors constaté une véritable perte de savoir-faire* », poursuit Julio Bendezu-Sarmiento. Ce qui était auparavant fabriqué de façon quasi industrielle, comme la céramique, a été remplacé par des productions plus rustiques. La plupart des objets métalliques ont disparu. « *Et c'est autour de ces changements que les discussions achoppent parmi les spécialistes* », ajoute Julio Bendezu-Sarmiento. En Asie centrale en effet, contrairement à la Mésopotamie, il n'existe pas de textes écrits pour élucider les causes de ces bouleversements.

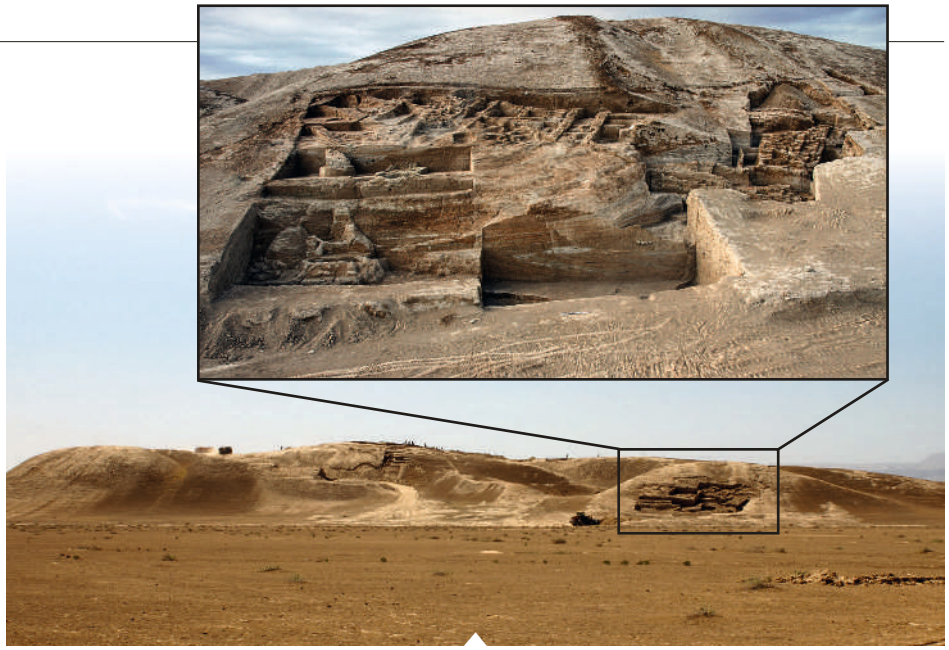
JULIO BENDEZU-SARMIENTO/MAFTUR

Huit vases en albâtre ont été retrouvés dans la « tombe de la princesse » fouillée dans la partie nord-est d'Ulug dépé (ici l'un d'eux tenu par Julio Bendezu-Sarmiento).

En poursuivant l'ascension vers le sommet du site, les chercheurs ont d'abord mis au jour les vestiges d'une citadelle bâtie aux alentours de 1000 avant J.-C. Mais l'imposant bâtiment de 40 m de côté qui dominait la ville n'était pas le seul. Une seconde citadelle a ensuite été dégagée. « *Dès 2003, une prospection électromagnétique nous a fait comprendre que tout était très complexe. À Ulug dépé, nous avons ainsi découvert une cité avec une ville haute chapeautée par une citadelle et trois grands bâtiments, et une ville basse avec des rues et d'autres édifices importants. Surtout, la ville était encerclée d'une muraille avec trois grandes portes de défense. Un cas unique en Asie centrale* », précise Julio Bendezu-Sarmiento. « *Malheureusement, nous trouvons peu de matériel archéologique dans ces niveaux probablement pillés. Et il n'y a quasiment plus de métal. Ils sont aussi dépourvus de tombes* », déplore l'archéologue.
Comme dans toute l'Asie centrale. Dans les couches de l'âge du bronze, vers 2000 avant J.-C., des nécropoles pouvaient posséder jusqu'à 5000 tombes.
Témoin de l'apogée de la civilisation de l'Oxus, le site d'Ulug dépé a ainsi livré de riches sépultures, comme celle d'un couple dont la dépouille de la femme a été retrouvée ornée d'une ceinture en perles de calcaire associée à des objets de prestige, des vases en céramique, et d'autres en albâtre provenant sans doute d'Iran ou du Balouchistan, dans l'actuel Pakistan ; tandis que celle de l'homme portait des perles d'or, du lapis-lazuli d'Afghanistan, de la cornaline de la vallée de l'Indus, et même des agates.

Les pratiques funéraires ont évolué

Mais ces pratiques funéraires vont radicalement changer. À Ulug dépé comme dans d'autres lieux, les corps des défunts étaient tout simplement déposés à l'extérieur de la muraille de la ville. « *Ces pratiques ont débuté en Asie centrale durant la deuxième moitié du IIe millénaire avant J.-C.* [vers 1500 avant J.-C]», explique Julio Bendezu-Sarmiento, qui parle de « *cultures* sine sepulchro », c'est-à-dire sans sépultures. « *Les corps étaient abandonnés pour que les animaux les dépècent. Dans des fouilles datant de l'âge du fer ancien, nous avons trouvé des individus sans tête, sans épaule, sans bras, etc. À Ulug dépé, des analyses ostéologiques indiquent*


MAFTUR

La cité d'Ulug dépé est un site unique : cet imposant tertre de 30 m de haut a été occupé sans interruption depuis la fin du néolithique (5000 avant J.-C.) jusqu'à l'âge du fer moyen (VIe siècle avant J.-C.).

que sur le site d'habitat, 99 % des os recueillis provenaient de la faune et 1 % seulement d'os humains. Pour parachever le tout, en 2020, les seuls os humains que nous avons rencontrés étaient à l'extérieur du mur d'enceinte nord du site, dans ce que l'on pourrait qualifier de poubelles ! »

Ce passage de l'inhumation des morts au profit de l'exposition des corps à l'air libre aurait été le signe avant-coureur de l'arrivée d'une religion monothéiste qui se développera au Ier millénaire avant notre ère, une forme de proto-zoroastrisme *(lire l'encadré p. 80)*. *« Dans le zoroastrisme tel qu'on le connaît aujourd'hui, les corps des défunts ne sont pas enterrés, car ils ne doivent pas souiller la terre, le feu, l'air et l'eau. Le corps se décompose, mangé par des charognards* », précise Julio Bendezu-Sarmiento. D'où ceux abandonnés pour être dévorés par les animaux. Une pratique qui a perduré pendant plus d'un millénaire.

Un effondrement causé par une chute démographique ?

En même temps que les corps des humains n'étaient plus inhumés, un « effondrement » est également constaté du côté des grands palais et grandes villes qui disparaissent à leur tour. Ils sont alors remplacés par des villages de moindre importance. Un potentat régional subsista certainement encore, mais il ne présente plus aucun signe de richesse. Pour expliquer ce déclin, des archéologues russes avaient dans un premier temps émis comme hypothèse, l'arrivée en masse sur le territoire de la civilisation de l'Oxus de populations belliqueuses issues de régions septentrionales. D'autres ont suggéré que des perturbations dans l'équilibre du système socio-économique avaient été induites par l'aridité croissante du climat et la diminution consécutive du potentiel agricole. Après des conditions climatiques plutôt humides, un fort assèchement du climat serait survenu vers 2000-1800 avant J.-C., réduisant progressivement le débit des rivières, et déplaçant sans cesse les sables du Karakoum. Or les échanges commerciaux avaient une large part dans l'essor de la civilisation de l'Oxus ; en particulier un commerce intensif avec le Proche-Orient et la civilisation de l'Indus de matières premières comme les minerais, au premier rang desquels l'étain et le lapis-lazuli. *« Des bouleversements en rapport avec le commerce de l'étain auraient alors pu provoquer le déclin de la civilisation de l'Oxus* », estime l'archéologue.

Autre possibilité, la concentration de populations dans des centres urbains aurait pu atteindre un niveau critique. Fréquemment évoquée pour expliquer les effondrements de civilisation, l'hypothèse de la catastrophe démographique est souvent liée à la survenue de problèmes écologiques faisant suite à l'aridification des sols ou la disparition des cours d'eau. Enfin, la civilisation de l'Oxus aurait pu disparaître consécutivement à des bouleversements sociopolitiques internes (conflits entre élites, lutte de classes, dysfonctionnement social). Encore aujourd'hui, la période finale demeure assez obscure. *« Seule la poursuite des fouilles archéologiques nous permettra de mieux comprendre les processus d'évolution de cette civilisation, jusqu'à son remplacement définitif à l'âge du fer ancien par la culture* sine sepulchro », conclut Julio Bendezu-Sarmiento. ■

LE + NUMÉRIQUE
Retrouvez l'entretien vidéo que nous avait accordé Julio Bendezu-Sarmiento à l'occasion de la remise du grand prix Engie pour ses découvertes sur la civilisation de l'Oxus.
sciav.fr/897oxus

MAFTUR

« Des bouleversements en rapport avec le commerce de l'étain auraient pu amorcer le déclin de cette civilisation »

Julio Bendezu-Sarmiento, directeur de la Mission archéologique franco-turkmène (Maftur), chargé de recherches au sein de l'équipe éco-anthropologie du CNRS

Partagez
les coups de cœur
musicaux d'une star
du classique

LES CARNETS DE GAUTIER CAPUÇON

de 11h à 12h le week-end

RADIO CLASSIQUE

Download on the App Store

ANDROID APP ON Google play

En direct et en replay sur radioclassique.fr
et l'application Radio Classique

Et votre journée devient plus belle

KHALED DESOUKI / AFP

KHALED EL-ENANY
MINISTRE ÉGYPTIEN DU TOURISME ET DES ANTIQUITÉS

« Le Grand Musée égyptien est le projet culturel du siècle »

Le ministre des Antiquités égyptien a reçu en exclusivité « Sciences et Avenir » pour évoquer la situation de l'archéologie, des musées et du tourisme dans le pays.

L'inauguration du Grand Musée égyptien (GEM) à Gizeh, reportée plusieurs fois, est très attendue. Quand aura-t-elle lieu ?
Khaled El-Enany : Dès que la situation mondiale concernant la pandémie le permettra. Un tel événement ne peut être en effet envisagé tant que nous devrons respecter des mesures de distanciation physique ou porter un masque
Ce projet culturel est à mes yeux le plus important du siècle. Nous souhaitons organiser une cérémonie mémorable à laquelle seront conviés des chefs d'État et des célébrités de tous domaines. Nous travaillons très sérieusement à la finalisation de ce projet muséographique de grande ampleur afin que les travaux soient achevés au dernier trimestre de cette année. L'inauguration devrait donc avoir lieu en 2022.

Quels sont les défis que vous avez eus à relever face à la crise engendrée par la pandémie de Covid-19 ?
Les mêmes que ceux de tous les ministres du Tourisme, de la Culture et du Patrimoine dans le monde. La situation a eu de lourdes répercussions sur notre secteur, notamment après 2019 considérée comme une année exceptionnelle pour le tourisme égyptien. Les revenus de cette activité avaient en effet rapporté 12,5 milliards de dollars (10,7 milliards d'euros) au cours de l'exercice 2018-2019, soit les recettes touristiques les plus élevées jamais obtenues dans l'histoire de notre pays. Malheureusement, avec la propagation du coronavirus, nous avons été amenés à suspendre les vols internationaux en direction de l'Égypte, et avons dû fermer presque toutes nos destinations touristiques dès mars 2020.

Quelle est la situation actuelle ?
Le tourisme national a repris mi-mai 2020 et le tourisme international en juillet de la même année.

BIO EXPRESS

- **1971 :** Naissance à Gizeh, Égypte.
- **2002-2016 :** Chercheur associé, membre du conseil d'administration de l'Institut français d'archéologie orientale (Ifao).
- **2014-2016 :** Directeur général du Musée national de la civilisation égyptienne.
- **2015-2016 :** Directeur général du Musée égyptien du Caire.
- **2016-2019 :** Ministre des Antiquités.
- **Depuis 2019 :** Ministre du Tourisme et des Antiquités.

Nous avons beaucoup travaillé les choix et décisions que nous avons eus à prendre pour faire face à cette crise. Ce qui a porté ses fruits puisque nous atteignons depuis mars une moyenne de plus de 500 000 touristes par mois. Cela ne correspond qu'à 45 % des chiffres d'avant la pandémie, mais au vu de la situation mondiale, ce sont des résultats relativement corrects.

Qu'en est-il du secteur des antiquités et du patrimoine ?
Nous avions été amenés à fermer la totalité des sites archéologiques et des musées du Caire en mars 2020, puis nous les avons rouverts graduellement à partir de juillet 2020. Nous avons également inauguré le Musée national de la civilisation égyptienne (NMEC) à El-Fustat, le soir du 3 avril 2021, à la suite de la « Parade des momies » [le transfert de 22 momies de pharaons et reines]. Ce musée est très visité par les Égyptiens. Par ailleurs, un très grand nombre d'autres

KHALED DESOUKI/ AFP

L'inauguration du Grand Musée égyptien, à Gizeh, devrait avoir lieu dans les prochains mois, dès que les mesures sanitaires liées à la pandémie de Covid-19 seront levées (ici désinfection aux abords du musée).

projets muséographiques ont vu le jour entre 2020 et le début de cette année malgré la pandémie. Un premier musée a ainsi été ouvert à Hurghada et un autre à Charm el-Cheikh, sur le littoral de la mer Rouge.

Où en est l'archéologie égyptienne ?
Elle n'est pas en reste. Il y a eu de très importantes découvertes pendant cette période à l'instar de la centaine de sarcophages intacts retrouvés dans la nécropole de Saqqarah, dans le gouvernorat de Gizeh. Nous avons également achevé la restauration du complexe funéraire de Djoser, la plus ancienne pyramide de l'histoire. D'autres projets débutés en 2017/2018, également perturbés par la pandémie, ont finalement abouti comme l'ouverture au public du palais du baron Empain, à Héliopolis, dans la banlieue du Caire.

2022 sera l'année du bicentenaire du déchiffrement des hiéroglyphes par Champollion, et celle du centenaire de la découverte du tombeau de Toutankhamon par Howard Carter. Comment ces deux événements seront-ils commémorés ?
Nous allons célébrer le bicentenaire du déchiffrement de la pierre de Rosette le 27 septembre 2022, ainsi que le centenaire de la découverte du tombeau de Toutankhamon, le 4 novembre 2022. Tout cela se fera en fonction de la date d'ouverture du GEM qui abritera la totalité du trésor de Toutankhamon. Une très grande cérémonie s'y déroulera car nous allons y transférer la momie du célèbre pharaon depuis le musée de la place Tahrir où il se trouve actuellement.

Quel serait le message le plus important que vous souhaitez faire passer, tant pour le patrimoine égyptien que pour le retour des touristes ?
Si je m'adresse aux lecteurs français de *Sciences et Avenir*, magazine que je connais fort bien, je leur dis : « *Venez en Égypte !* » Les Français aiment beaucoup l'Égypte, les Égyptiens aiment beaucoup les Français ! C'est une nouvelle Égypte qui émerge, portant un intérêt sans précédent à sa culture, ses musées et son patrimoine. Nous avons ouvert plus de vingt musées au cours des quatre ou cinq dernières années et mis en route plus d'une centaine de projets de restauration de sites archéologiques. ■

Propos recueillis au Caire par
Bernadette Arnaud
@NarudaaArnaud

Un avenir électrisant. Parmi les voies explorées par les constructeurs, l'électrique est la plus efficace et la plus facile à déployer à grande échelle.

VOLKSWAGEN AG

5 questions pour comprendre les nouvelles énergies automobiles

Au cœur des enjeux climatiques actuels, l'automobile cherche une voie pour sortir du tout pétrole. Des solutions existent, reste à savoir celle qui réussira à s'imposer.

Par Mathieu Chevalier, avec Agence Forum News

1 Quelle est la nature des émissions visées par les réductions ?

Tout d'abord, il y a le CO_2, un gaz à effet de serre (GES) qui accélère le réchauffement climatique. Depuis le milieu du XIXe siècle, la température du globe a augmenté de 1,2 °C sous l'effet des GES. Selon le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), avec une hausse de 1,5 °C, 350 millions de personnes feront face à des pénuries d'eau parmi les conséquences les plus néfastes. Or le transport routier est à l'origine de 31 % des GES. Ensuite, il y a les gaz polluants (en particulier les oxydes d'azote) et les particules fines, qui ont des conséquences directes sur la santé. 48 000 décès par an seraient liés à ces dernières, estime Santé publique France. Le secteur routier compte pour 18 % dans l'émission de ces particules.

2 Le moteur thermique est-il condamné à disparaître ?

Depuis de nombreuses années, les constructeurs, poussés par une réglementation de plus en plus sévère, travaillent à réduire les émissions de leurs véhicules. L'amélioration du rendement des moteurs, l'optimisation de l'aérodynamisme ou encore l'ajout de filtres ont permis des progrès significatifs. Et ce malgré l'alourdissement des véhicules, entraîné par la multiplication des équipements de sécurité et de confort. Plus récemment, c'est l'arrivée de la technologie électrique — sous forme d'hybridation ou de 100 % électrique — qui a permis de réaliser des gains substantiels. Ainsi, les émissions de CO_2 par véhicule ont d'ores et déjà été réduites de 19 % entre 2019 et 2020 selon le cabinet d'études Jato. Mais pour les supprimer, il n'y a pas d'autre moyen que le passage au 100 % électrique. Ce sera la fin des moteurs thermiques, la question étant d'en connaître l'échéance.

3 Les carburants alternatifs sont-ils prometteurs ?

Aux côtés du super et du diesel, des carburants alternatifs font valoir leurs atouts en matière d'environnement. Ils sont généralement distribués dans les stations-service classiques mais nécessitent une adaptation du véhicule pour pouvoir être utilisés. Le superéthanol, ou E85, est un carburant qui contient jusqu'à 85 % d'éthanol. Celui-ci était obtenu jusqu'à une date récente par fermentation des sucres de betterave ou de céréales. Maintenant, s'ajoute à ce procédé la production à partir des résidus de ces agricultures, qui ne rentre plus en concurrence avec les ressources alimentaires. Seuls les véhicules dits flexfuel peuvent rouler à l'E85. Non seulement cette énergie émet moins de CO_2 malgré une surconsommation (le bioétha-

Limiter les émissions. Par rapport à l'essence, le GPL rejette 20 % de CO_2 en moins et pas de particules fines.

ANTHONY BERNIER

GAMME RENAULT E-TECH

choisissez votre expérience électrique

Découvrez Renault E-Tech : une gamme de véhicules hybrides, hybrides rechargeables et 100 % électriques, adaptée à vos besoins et conçue pour répondre efficacement aux enjeux du monde d'aujourd'hui.

la gamme Renault E-Tech, qu'est-ce que c'est ?

- Une technologie innovante, avec plus de 150 brevets déposés
- Le meilleur de Renault en version électrifiée
- Des véhicules à la fois éco-responsables, économiques, performants et agréables à conduire

© s. staub

l'expérience Renault E-Tech 100 % électrique

Que ce soit pour de courts trajets en ville ou pour un long voyage, Renault E-Tech 100 % électrique répond à la mobilité d'aujourd'hui : plaisir et performance, autonomie, conduite écologique et économique. Préparez-vous à vivre une expérience aussi réjouissante qu'électrisante.

Le véhicule électrique est agréable à la conduite : 0 bruit, 0 odeur, 0 vibration, 0 passage de vitesse. Bénéficiez d'accélérations franches et d'une conduite dynamique.

Les progrès de la batterie électrique vous permettent d'aller plus loin, avec une autonomie jusqu'à 190 km(1) avec Twingo électrique ou 395 km(1) en Zoe électrique sans avoir besoin de recharge. Pour encore plus de confort, vous pouvez localiser les bornes de recharge avec le système multimédia Renault Easy Link™ et sur l'application My Renault.

Rouler en électrique, c'est contribuer à une meilleure qualité de l'air puisque ces véhicules n'émettent ni CO_2(2) ni particules lorsqu'ils circulent. Pour cette même raison, vous êtes certain de pouvoir accéder en toute tranquillité aux centres-villes, même en cas de pic de pollution. Moins polluante et plus économique : avec cette motorisation, oubliez le prix de l'essence et profitez d'un faible coût en électricité pour la recharge, ainsi que d'un entretien jusqu'à 30 % moins cher.

(1) en cycle mixte WLTP (Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure), selon version et équipements. Ce protocole permet de mesurer les consommations et économies en conditions réelles d'utilisation. (2) 0 émission de CO_2, hors pièces d'usure.

l'expérience Renault E-Tech hybride

Renault a mis au point deux types de motorisation hybride : E-Tech hybride et E-Tech hybride rechargeable.

Dans les deux cas, il s'agit de la combinaison de deux moteurs électriques et d'un moteur thermique gérés par une boîte de vitesses automatique innovante. Le véhicule démarre systématiquement en 100 % électrique, avec une réponse instantanée et un silence absolu à la clé. Ainsi, vous alliez plaisir de conduite et gain à la consommation.

E-Tech hybride

Avec la motorisation E-Tech hybride, simplifiez vos déplacements. La batterie de votre véhicule se recharge en roulant. Ainsi, vous n'avez pas besoin de vous brancher.

De la citadine Renault Clio E-Tech hybride au SUV Arkana E-Tech hybride, appréciez une motorisation réactive et silencieuse, adaptée à tous vos besoins. Réalisez 80 % de vos trajets urbains en 100 % électrique, et pour vos plus longs trajets, le moteur thermique prend le relais.

Avec la motorisation E-Tech hybride, réduisez vos émissions de CO_2 et réalisez des économies. Diminuez jusqu'à 40 % votre consommation de carburant en ville, par rapport à un moteur thermique traditionnel.

E-Tech hybride rechargeable

Avec la motorisation E-Tech hybride rechargeable, vivez une nouvelle expérience de conduite. La batterie de votre véhicule se recharge en roulant, mais aussi sur une borne, en ville ou à la maison. Ainsi, vous ne serez jamais à court d'énergie.

Au quotidien, la berline Megane E-Tech hybride rechargeable et le SUV compact Captur E-Tech hybride rechargeable vous font bénéficier d'une conduite 100 % électrique réactive et silencieuse (autonomie jusqu'à 50 km en cycle WLTP(1)). La voiture alterne automatiquement entre les modes 100 % électrique et hybride pour voyager plus loin.

Réalisez des économies et contribuez à une meilleure qualité de l'air en réduisant de 75 % votre consommation de carburant et vos émissions de CO_2.

© bam

nol contenant moins de carbone que le sans-plomb) mais ce gaz est en partie capté par la plante quand elle pousse. Autre solution qui a connu son heure de gloire sous l'effet d'un bonus, le GPL (gaz de pétrole liquéfié). Un réservoir supplémentaire donne le choix entre rouler à l'essence ou au GPL. En dépit d'une consommation supérieure, les rejets de GES et de polluants sont également inférieurs à ceux de l'essence et du diesel.

4 Pourquoi le véhicule électrique s'impose-t-il aujourd'hui ?

TESLA

Le vent en poupe. Les ventes de véhicules électriques explosent, la Tesla Model 3 en tête.

De toutes les énergies d'avenir, l'électricité est la plus simple à mettre en place. La technologie est maîtrisée, facile à produire à grande échelle et efficace : elle élimine totalement les émissions polluantes au niveau local. Dans les villes, la conversion au tout électrique serait synonyme d'une amélioration spectaculaire de la qualité de l'air. Autres arguments : la baisse du coût d'usage du véhicule, de la pollution sonore et le progrès de l'agrément de conduite (confort et performances). Mais sa généralisation se heurte aussi à d'importants freins. Les batteries sont encore chères et entraînent un surcoût à l'achat qui peut atteindre 40 %. L'autonomie est limitée (350 à 400 km) et varie en fonction des conditions (utilisation, température…). Enfin, le réseau de bornes est toujours insuffisant. L'origine de l'électricité pose aussi question.

AVIS D'EXPERT

JÉRÔME LEGLISE

NICOLAS KURTSOGLOU

RESPONSABLE CARBURANTS AU SYNDICAT NATIONAL DES PRODUCTEURS D'ALCOOL AGRICOLE

« Le superéthanol E85 est écologique et économique »

Quels sont les atouts du bioéthanol ?
Il est produit à partir de biomasse (plantes telles que la betterave, le blé, le maïs) qui capte le CO_2 lors de la photosynthèse. Le bioéthanol pur permet une réduction des émissions de CO_2 de 75 % par rapport au sans-plomb — carburant fossile — car ce qu'il rejette à l'usage, il l'a capté auparavant. À la pompe, il est mélangé au sans-plomb à hauteur de 85 % et devient le superéthanol E85. Malgré une surconsommation de 25 %, le prix de 0,68 euro/litre entraîne une économie annuelle de 600 euros (si on prend une conduite de 13 000 km/an, avec une consommation de 7 l/100 km). Sans parler des avantages fiscaux sur la carte grise, le malus ou la TVS (taxe sur les véhicules des sociétés).

Mais le bioéthanol détourne des ressources destinées à l'alimentation…
Non car la production de bioéthanol « conventionnel », issu de ressources alimentaires, ne représente que 0,6 % de la surface agricole utile française. Parallèlement se développent les biocarburants dits avancés qui valorisent, eux, des ressources non alimentaires.

Quels sont les freins à la démocratisation de cette énergie ?
Seulement 160 000 véhicules roulent à l'E85. Ils doivent être équipés d'un boîtier installé après l'achat, ou être flexfuel s'il s'agit d'un modèle neuf. Or, peu de constructeurs proposent ce type de véhicule. Mais c'est en train de changer avec Ford qui a étoffé son offre par exemple. Il faut aussi continuer à développer le réseau de distribution. Il y a aujourd'hui 2550 stations, soit 28 % de l'ensemble du réseau, un chiffre qui a presque doublé en trois ans. ■ **Propos recueillis par M. C.**

5 Quel avenir pour l'hydrogène ?

Un véhicule qui ne rejette que de l'eau, telle est la promesse de la voiture à hydrogène. Une voiture à hydrogène produit elle-même son énergie grâce à une pile à combustible et ne rejette que de l'eau. Pas de recharge ici : un plein d'hydrogène, beaucoup plus rapide, suffit pour récupérer une autonomie de plus de 500 km. Mais cette technologie pâtit de gros inconvénients comme le coût exorbitant de la pile à combustible et un réseau de distribution d'hydrogène inexistant. Ce gaz volumineux nécessite en plus d'être stocké et transporté sous très

TOYOTA

Pour après-demain. Séduisant sur le papier, l'hydrogène fait face à de nombreux freins dans la pratique.

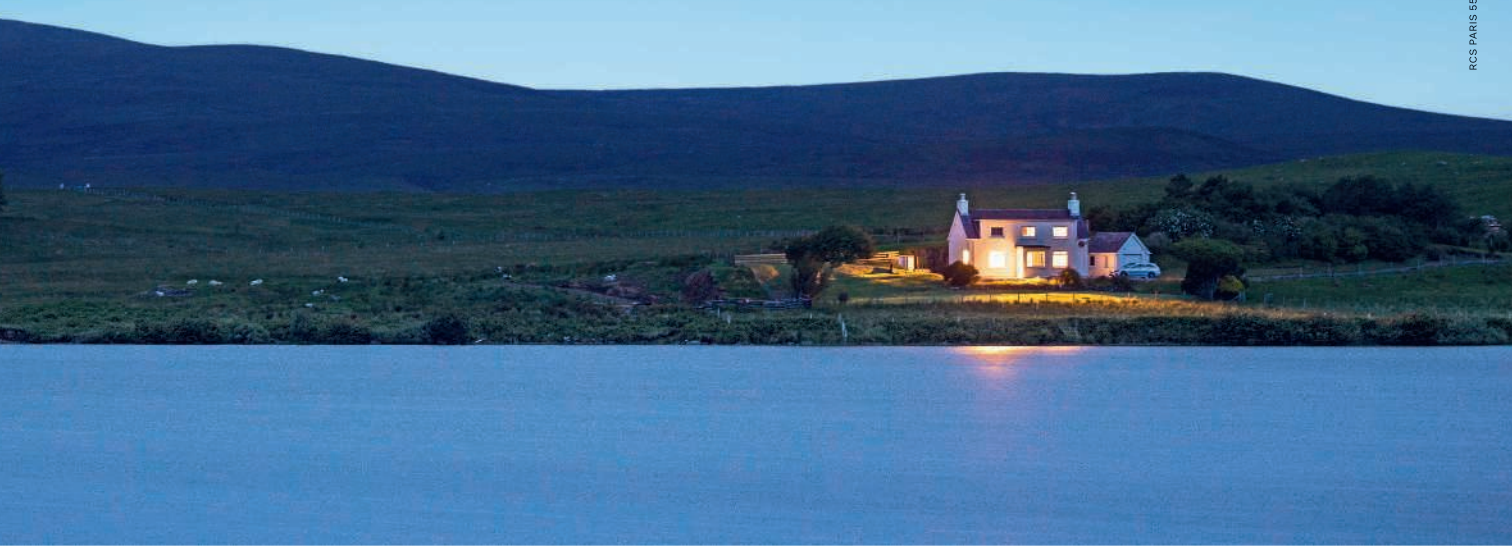
haute pression (700 bars). Enfin, sa production, par conversion d'hydrocarbures, est émettrice de CO_2. Une solution bas carbone existe, par électrolyse de l'eau, mais ce processus est cher et doit utiliser de l'électricité d'origine renouvelable. ■

EDF

Devenons l'énergie qui change tout.

POUR LE CLIMAT, TOUTES LES ÉNERGIES NE SE RESSEMBLENT PAS.

**L'électricité d'EDF est à 97% sans émissions de CO_2*.
Et ça, c'est mieux pour le climat.**



RCS PARIS 552 081 317

PARIS 2024 | PARIS 2024

PARTENAIRE
PARALYMPIQUE ET OLYMPIQUE

L'énergie est notre avenir, économisons-la!

*Émissions directes, hors analyse du cycle de vie des moyens de production et des combustibles – périmètre EDF SA, source : EDF.
Plus d'informations sur **edf.fr/climat**

SOMMAIRE

▶ C'est à lire
p. 96

▶ C'est à voir
p. 100

▶ Le ciel du mois
p. 101

▶ Chroniques
p. 102

▶ Questions de lecteurs
p. 104

▶ Solutions des jeux
p. 105

▶ Jeux
p. 106

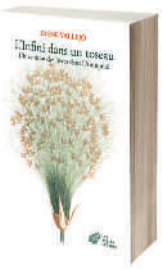
DENIS CHEVALIER - AKG IMAGES

Livre d'heures avec enluminure représentant la tentation d'Adam et d'Ève (manuscrit du XVe siècle).

L'amour des livres

La romancière et essayiste espagnole Irene Vallejo retrace avec verve l'aventure millénaire de la transmission des idées et des savoirs.

HOMMAGE Quand les livres ont-ils été inventés ? Comment ont-ils traversé les siècles ? Véritable ode à cet objet qui a rendu possible la transmission des idées et des savoirs, la lecture de *L'Infini dans un roseau* est un enchantement. En prenant le ton du conteur, l'écrivaine espagnole Irene Vallejo nous entraîne dès les premières lignes sur les chemins de la Grèce ancienne, dans la quête menée pour collecter *« tous les livres du monde »*, ceux qui devaient approvisionner la bibliothèque d'Alexandrie, selon les souhaits de Ptolémée, l'ancien général d'Alexandre. Avant eux, les tablettes d'argile des Sumériens avaient été les premiers volumes, à remplir, il y a 5000 ans, les étagères des plus anciennes bibliothèques de l'Antiquité, à l'instar de celle d'Assurbanipal. Au pays des pharaons, on découvre surtout le matériau le plus utilisé pour écrire : le papyrus. Ce roseau qui pousse dans les eaux du Nil exporté en quantité par l'Égypte et que Juifs, Grecs et Romains adoptèrent avec enthousiasme. Le rouleau de papyrus représenta un fantastique progrès dans l'histoire du livre. *« Un rouleau aux dimensions ordinaires pouvait contenir une tragédie grecque complète, un bref dialogue de Platon ou un évangile. »* Puis, à Pergame, on décida de perfectionner une technique : celle de parchemin fabriqué à partir de peaux de mouton, veau, agneau ou chèvre. Il devint dès lors le support préféré des enlumineurs et des scribes.



Avec passion et une grande érudition, l'auteure redonne également vie à tous les anonymes qui ont rendu possible la transmission des livres jusqu'à nous. *« L'amour des livres et de la lecture respirent à travers ce chef-d'œuvre »*, a commenté le prix Nobel de littérature Mario Vargas Llosa. ■ **Bernadette Arnaud**

L'Infini dans un roseau. L'invention des livres dans l'Antiquité, Irene Vallejo, Les Belles Lettres, 560 p., 23,50 €

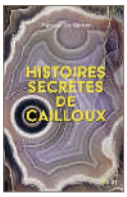
Des algorithmes contre le crime

PRÉDICTION PredPol, HunchLab, PredVol, COMPAS… Ces logiciels ont en commun de s'attirer le scepticisme tant ils renvoient à des fantasmes de science-fiction. Et pour cause : ils ambitionnent de prédire crimes et délits. La démarche a été médiatisée avec le logiciel californien PredPol dans l'espoir, comme l'expliquent les auteurs, de combler un manque de fiabilité du jugement humain. Sauf que l'objectivité d'une machine n'est pas non plus acquise. ■ **A. D.**

Les Nouveaux Oracles. Comment les algorithmes prédisent le crime, Vincent Berthet et Léo Amsellem, CNRS éditions, 40 p., 22 €

Les richesses du monde minéral

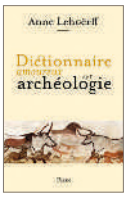
PATRIMOINE Géologue au Muséum national d'histoire naturelle de Paris, Patrick De Wever nous donne à voir et à comprendre un choix de sites minéraux remarquables à travers le monde ou encore d'usages étonnants des cailloux : matières broyées pour orner les peintures médiévales, sirènes de Haute-Provence, œil du Sahara, demoiselles coiffées de la Durance ou plages rouges de l'île de Groix nous dévoilent tour à tour leurs secrets tout en donnant à voir l'extraordinaire diversité du monde minéral. ■ **S. R.**



Histoires secrètes de cailloux, Patrick de Wever, Belin, 296 p., 22 €

Dans la peau d'un Indiana Jones

EXPLORATION Avec des noms de rêve — Angkor, Lascaux, Sutton Hoo, —, ou d'autres tels qu'Agatha Christie, Indiana Jones, jusqu'à de plus arides comme dendrochronologie —, les 161 « entrées » qu'offre cet ouvrage sont autant de clés pour pénétrer les univers de prédilection de l'archéologue Anne Lehoërff. Spécialiste de l'âge du bronze, l'auteure, passionnée, explore, d'Abou Simbel à la « cité de Z », les multiples facettes de ce domaine hautement fantasmatique. ■ **B. A.**



Dictionnaire amoureux de l'archéologie, Anne Lehoërff, Plon, 572 p., 26 €

Nos amies les plantes

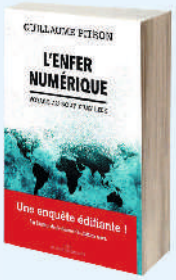
PLAIDOYER « Les plantes font de la Terre ce qu'elle est. » Elles détiennent la clé de la survie du vivant, grâce notamment à la production d'oxygène par la photosynthèse. À partir de ce postulat, Stefano Mancuso, neurobiologiste végétal et défenseur du concept controversé de l'intelligence des plantes, se lance dans un plaidoyer. Il les élève au rang de nation, et imagine une constitution qu'elles auraient rédigée afin de protéger les humains de leurs propres dérives. Le scientifique s'aventure dans un exercice où les références sociologiques, économiques ou éthologiques se mêlent avec plus ou moins d'équilibre à ses vastes connaissances des végétaux. Il procède par oppositions : nous polluons, les plantes dépolluent. Nous rompons l'harmonie des interactions du vivant, elles la maintiennent. Nous exploitons à l'extrême nos ressources, aveuglés par la compétition, les plantes modulent leurs besoins en fonction des moyens à disposition et misent sur la coopération. *In fine*, elles savent bien mieux que nous garantir la pérennité de l'espèce. ■ **Andreina De Bei**

Nous, les plantes, Stefano Mancuso, Albin Michel, 176 p., 15 €

Claps de fin

BIG CRUNCH *« Il y aura une fin. »* C'est la seule certitude de l'astrophysicienne Katie Mack, mais elle est sans appel : l'Univers connaîtra l'apocalypse. Mais laquelle ? La mort thermique, lente et froide, qui verra s'éteindre un à un tous les astres de l'Univers ? Le Big Crunch, où tous les atomes seront comprimés dans moins d'un dé à coudre ? La scientifique détaille cinq scénarios, avec un évident talent de vulgarisation, nous initiant au concept d'énergie noire, ou de vide quantique. Passionnant, et pas déprimant ! *(Voir aussi notre dossier sur les fins de l'Univers, avec une interview de Katie Mack,* S. et A. *n° 887).* ■ **F. N.**

Comment tout finira. Katie Mack, Quanto, 271 p., 22 €

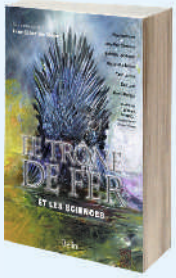


Le numérique écologique : un fantasme

ENQUÊTE Avant de lire ce texte, peut-être étiez-vous en train de commenter la dernière photo d'un(e) ami(e) sur Facebook ou de partager un article de votre magazine scientifique préféré sur Twitter. Savez-vous ce qui rend possible ces opérations numériques, en apparence déconnectées du monde réel et, affirment certains, indolores pour la planète ? Le journaliste Guillaume Pitron, au bout d'une enquête de deux ans qui l'aura mené en Chine, dans le cercle arctique ou encore aux États-Unis, jette une lumière crue sur ce fantasme d'un lien vertueux entre numérique et écologie. Sa plume, nourrie également par de multiples entretiens et l'analyse de rapports et études, met au jour l'infrastructure de plus en plus gigantesque qui sous-tend le numérique (centres de données, mines de métaux stratégiques, etc.) et l'impact écologique toujours plus faramineux de cet univers sur notre planète. Percutant. ■

Vincent Glavieux

L'Enfer numérique, Guillaume Pitron, Les Liens qui Libèrent, 352 p., 21 €



Une série culte au microscope

ANALYSE La saga *Le Trône de fer de* George R. R. Martin, portée à l'écran sous le titre *Game of Thrones,* est devenue un succès. D'où vient cet engouement ? Sans doute, comme le note Jean-Sébastien Steyer, qui a dirigé cet ouvrage collectif, qu'avec ses *« corruptions, guerres, fanatismes, trahisons… le monde du* Trône de fer, *ultraviolent, n'est pas si différent du nôtre »*. C'est la construction scientifique de ce monde que les auteurs décortiquent, analysant sa géographie et sa géophysique. Et que veut dire *« winter is coming »* (l'hiver arrive) sur le plan climatique ? C'est par le souci du détail de tout ce qui relève de l'histoire naturelle que se distingue cette œuvre, tant du point de vue de sa biologie, de son anthropologie, ou de sa paléontologie. Une analyse passionnante qui se penche aussi sur les influences du récit (*Les Rois maudits* de Maurice Druon notamment) et sur la psychologie des personnages. ■ **Philippe Pajot**

Le Trône de fer et les sciences, sous la direction de Jean-Sébastien Steyer, Belin, 256 p., 32 €

Autopsie froide de la crise du Covid-19

ENQUÊTE La pandémie n'est pas terminée, mais la vaccination progressive de la population mondiale trace la perspective d'un déclin du Covid-19. L'ancien chef du service de pneumologie et de réanimation de l'hôpital de La Pitié-Salpêtrière à Paris dresse un bilan scientifique de près de deux ans de crise. Nulle polémique ici, mais une démarche descriptive centrée sur la pandémie et son agression planétaire. Une enquête riche et rigoureuse pour mieux comprendre ce qui est arrivé au monde. ■ **H. J.**

Covid-19 : un seul monde, Jean-Philippe Derenne, Odile Jacob, 520 p., 24,90 €

L'espace expliqué à tous

JEUNESSE C'est le charme de ces livres destinés aux enfants : on les achète parce qu'ils sont accessibles sans rien sacrifier au fond. On les reprend, parce qu'il n'y a rien de mieux qu'un bon vulgarisateur scientifique, ici notre collaborateur Fabrice Nicot, pour se remettre les idées en place. Énoncer clairement ce qu'est une géante gazeuse, le rôle de Wernher von Braun, père des fusées V2 dans la conquête lunaire, ou l'importance stratégique du satellite français Astérix. ■ **M. N.**

Pourquoi la conquête spatiale, Fabrice Nicot et Élodie Perrotin (dessins), éd. du Ricochet, 125 p., 12 €

Voyage au cœur de l'évolution

FRESQUE Le paléo-anthropologue espagnol Juan Luis Arsuaga brosse une fresque passionnante de l'évolution de la vie sur Terre et invite le lecteur à réfléchir après l'exposé des faits scientifiques. Si la vie avait emprunté d'autres chemins, d'autres espèces *« intelligentes »* auraient-elles pu émerger ? Son récit, d'une clarté remarquable, est nourri des meilleurs spécialistes de l'évolution après Darwin : Monod, Jay Gould, Maur, Dobzhansky… dont il rappelle les travaux. ■ **R. M.**

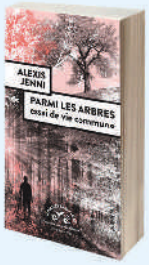
La Fabuleuse Histoire de la vie, Juan Luis Arsuaga, Alisio Sciences, 542 p., 24 €

La passion des pôles

EXPLORATION L'écrivain navigateur Dominique Le Brun nous livre une biographie de l'explorateur polaire Jean-Baptiste Charcot (1867-1936), dans laquelle il retrace son parcours. Après des études de médecine, il prendra la mer et sera le commandant de deux navires : le *Français* et le plus célèbre *Pourquoi-Pas*, dont le naufrage en 1936 sur la côte islandaise l'a fait entrer dans les mémoires. Ce livre illustré de clichés parfois inédits raconte la relation que l'explorateur entretient avec les mondes de glaces : le Groenland et les Inuits, puis l'Antarctique, dont il a cartographié des centaines de kilomètres. ■ **S. R.**

Charcot, Dominique Le Brun, Taillandier, 144 p., 17 €

Des arbres et des hommes



UNION Si proche, si loin… L'arbre est *« tout autre »* que nous. C'est ainsi qu'Alexis Jenni nous invite à le considérer. Se tenant à l'écart à la fois des tentations anthropomorphistes et des excès de complexité, l'auteur bâtit un essai fluide et teinté d'humour en croisant connaissances scientifiques et anecdotes personnelles. On voyage avec lui des Vosges jusqu'aux Andes, où l'émerveillement face à *« la grande dignité de l'arbre seul »* le saisit : chemin faisant, il nous en raconte l'intime fonctionnement. Tout entier surface d'échange, l'arbre vit pleinement du contact avec son environnement, est pratiquement immortel, et de sa fixité tire ses astuces. Ce tronc auquel l'on accorde tant d'importance n'est que la poutre cachant la finesse du système vasculaire. Les racines, invisibles aux yeux, *« vivent à la colle »* avec les champignons, en un réseau symbiotique incommensurable. Et rien que par sa forme épineuse l'arbuste crie : gare aux prédateurs ! Aussi familier qu'étrange, l'arbre vit comme une évidence, conclut l'écrivain. ■ **A. De B.**

Parmi les arbres. Essai de vie commune, Alexis Jenni, Actes Sud, 128 p., 17,50 €

REJOIGNEZ **LE PREMIER PÔLE SCIENTIFIQUE** DE LA PRESSE FRANÇAISE

SCIENCES ET AVENIR La Recherche

LE MENSUEL

LE HORS-SÉRIE

UNE INFORMATION THÉMATIQUE CLAIRE ET VIVANTE

Chaque trimestre, une thématique étudiée sous tous ses aspects, en compagnie des plus grands spécialistes.

39 JOURNALISTES PASSIONNÉS

19 PARUTIONS PAR AN

2,5 MILLIONS DE LECTEURS

2,6 MILLIONS DE SOCIO-NAUTES

7,3 MILLIONS DE VISITEURS SUR LE SITE

3 APPLICATIONS IOS/ANDROID

UNE VISION COMPLÈTE DE LA SCIENCE

Chaque mois, toute l'actualité scientifique, dans un langage accessible.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur sciencesetavenir.fr

La Recherche

LE TRIMESTRIEL

LA RÉFÉRENCE INCONTOURNABLE

Chaque trimestre, un panorama complet en 150 pages de la recherche scientifique.

Retrouvez toutes nos offres d'abonnement sur larecherche.fr

2 SITES POUR DES INFOS EXCLUSIVES

TOUTE L'ACTUALITE SCIENTIFIQUE QUOTIDIENNE

2 sites au service de l'actualité scientifique, de la plus accessible à la plus innovante. **Des articles quotidiens** pour être à la pointe de la science.

Vos questions en direct aux chercheurs chaque jeudi de 17H30 à 19H sur https://www.twitch.tv/sciencesetavenir/

plus de 2,2 millions de fans !

plus de 160 000 followers

163 000 instagrammeurs

Plus de 7 000 abonnés professionnels

plus de 17 000 abonnés

PROMINT-SCA

EXPOSITIONS

Auxerre (89)

Fascinants félins
Cette exposition gratuite fait découvrir le monde des félins, du petit chat d'Afrique au guépard en passant par le caracal et neuf sous-espèces de tigre. Certains spécimens sont familiers, d'autres ont disparu. Le parcours présente des naturalisations mais aussi des empreintes à toucher, des crânes ou des peaux.
Muséum, 5, boulevard Vauban, jusqu'au 16 janvier 2022. Rens. : 03.86.72.96.40.

Cluny (71)

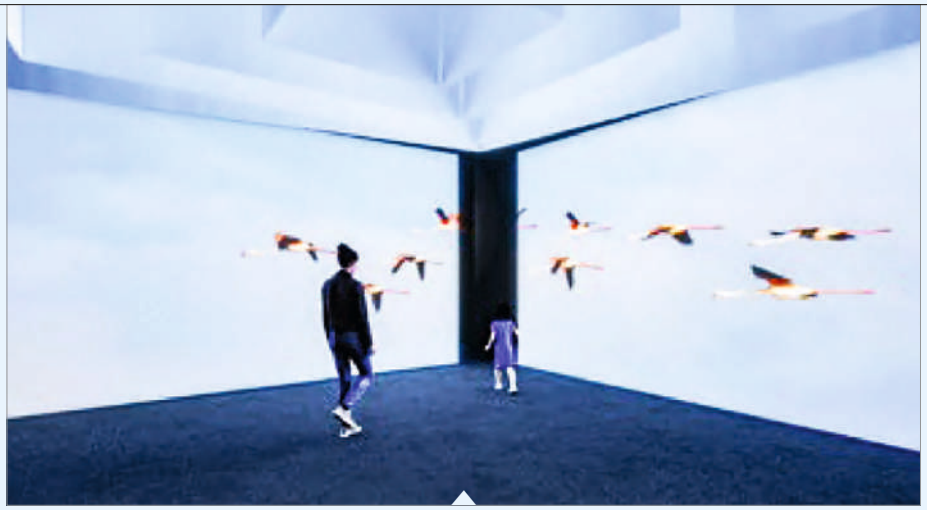
L'abbaye de Cluny ré-augmentée
Le plus grand site de l'ordre clunisien met en place des reconstitutions numériques qui dévoilent l'entièreté de l'abbaye, en grande partie démolie à la Révolution, tandis qu'un film en 3D raconte son histoire. Le parcours s'enrichit de quatre étapes interactives en réalité augmentée, permettant d'explorer les bâtiments virtuels.
Abbaye de Cluny, rue du 11-Août-1944. Rens. : 03.85.59.15.93.

Nîmes (30)

Portraits et secrets de femmes romaines
En 30 œuvres, dont le buste d'Agrippine la jeune (mère de Néron) et trois sections, ce parcours s'attache au statut et au rôle de plusieurs femmes dans la Rome des deux premiers siècles de l'Empire. Impératrices, membres de la famille impériale mais aussi anciennes esclaves ou femmes jouant un rôle public.
Musée de la Romanité, 16, boulevard des Arènes, jusqu'au 8 mars 2022. Rens. : 04.48.21.02.10.

Paris (75)

Le Soldat inconnu
Le 11 novembre 1920, l'Arc de triomphe accueillait le cercueil d'un soldat mort au combat mais non identifié. Il y sera inhumé le 28 janvier 1921. Son centenaire est célébré par une exposition d'œuvres, de photographies et d'objets évoquant cet hommage national.
Arc de triomphe, place Charles-De-Gaulle, jusqu'au 2 janvier 2022. Rens. : 01.55.37.73.77.



PROJECTILES/MARDI8/SENSORY ODYSSEY

Une expérience immersive unique dans des écosystèmes, au plus près des espèces qui les peuplent.

Paris (75) / Exposition

Partenariat SCIENCES AVENIR

L'Odyssée sensorielle

« *L'Odyssée sensorielle, c'est un peu Alice au pays de Darwin* », expliquait Gwenaël Allan, président de la société Expéditions Spectacles à l'origine de cette exposition du Muséum national d'histoire naturelle (MNHN), lors d'une présentation au printemps dernier. Ses équipes ont parcouru la planète pour filmer des scènes représentatives de différents écosystèmes, des hauteurs de la canopée amazonienne aux eaux arctiques. Réparties dans neuf salles, les images ont été choisies pour révéler un monde aussi beau que fragile. L'effet immersif sera renforcé par un dispositif sonore spatialisé expédiant tour à tour le visiteur, de nuit, au cœur de la savane près d'une mare, sous l'orage ou lui faisant entendre le crépitement du sonar des chauves-souris. Mais toute l'originalité de L'Odyssée sensorielle tiendra à la restitution des odeurs. Des canons olfactifs projetteront des senteurs qui se voudront parfois déroutantes, de celles, musquées, des animaux sauvages à celles, pestilentielles, de certaines plantes. (Lire notre reportage : sciav.fr/897odyssee) ■ **Joël Ignasse**

Grande Galerie de l'évolution du Muséum national d'histoire naturelle, 36, rue Geoffroy-Saint-Hilaire. Du 23 octobre au 4 juillet 2022. Rens. : 01.40.79 56 01.

PARTENARIATS SCIENCES AVENIR

Nantes (44)

Les Utopiales
Placé sous le thème des « transformations », le festival de science-fiction s'inspire pour sa 22e édition de la période actuelle de bouleversements issue de la pandémie de Covid-19. Comment l'humain va-t-il changer son rapport à la planète ? Comment va-t-il affronter d'autres catastrophes collectives ?
Cité des Congrès, 5, rue Valmy, du 29 octobre au 1er novembre. Rens.: 02.51.88.20.00.

Paris (75)

Destination cosmos, l'ultime défi
La jungle guyanaise et puis soudain, des étoiles, des planètes, des canyons martiens, les anneaux de Saturne… Grâce aux techniques de projection de l'Atelier des Lumières, le visiteur s'enfonce au cœur de l'univers dans cette exposition montée avec le Cnes.
Atelier des Lumières, 38, rue Saint-Maur, projections en continu à partir de 18 h 30, jusqu'au 20 novembre. Rens.: 01.80.98.46.00.

Festival des idées
« Réparer le futur » est le thème transversal de ce 6e festival organisé par l'Alliance Sorbonne-Paris-Cité, regroupement de six établissements d'enseignement supérieur. Hugo Jalinière, journaliste à *Sciences et Avenir*, animera une table ronde sur le thème « La santé, boussole du futur ».
La Bellevilloise, 19-21, rue Boyer et Ground Control, 81, rue du Charolais, du 18 au 20 novembre. Rens. : sciav.fr/897idées

Scannez ce QR code et retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet

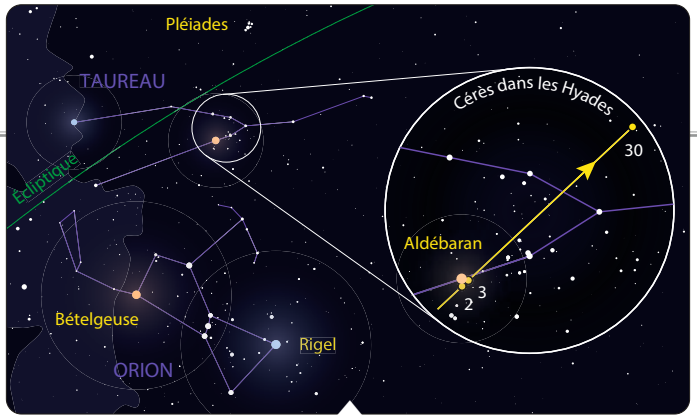
PAR JOHAN KIEKEN

Où sont les planètes ?

MERCURE La plus petite des planètes est observable le matin durant quelques jours en début de mois et sera ensuite trop proche de la direction du Soleil pour être détectée. Elle passera en conjonction supérieure le 29.

VÉNUS Bien qu'elle ait atteint sa plus grande distance angulaire à l'est du Soleil le mois dernier et que depuis, elle se rapproche en direction de celui-ci, l'étoile du Berger voit ses conditions d'observation s'améliorer. Elle est visible de plus en plus longtemps en soirée. Ainsi, si elle se couche 2 h après le Soleil en début de mois, elle le fera 2 h 45 après lui le 30.

MARS La planète Rouge est passée en conjonction avec le Soleil en octobre. Elle réapparaît timidement dans les lueurs de l'aube en fin de mois, encore peu brillante.

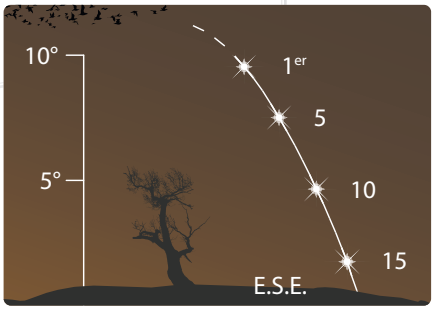


La scène met en valeur deux constellations hivernales, Orion et le Taureau. C'est dans celle-ci que vous trouverez Cérès, plus précisément dans l'amas d'étoiles des Hyades.

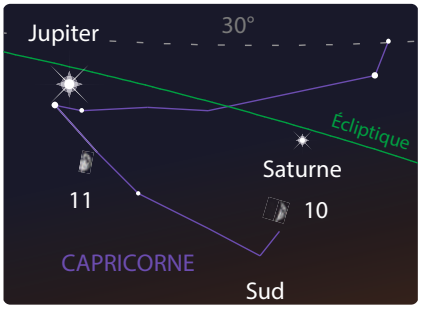
Cérès à portée de jumelles

PASSANT À L'OPPOSITION LE 27, Cérès, le plus gros objet de la ceinture d'astéroïdes, se trouve dans les meilleures conditions d'observation de l'année, visible toute la nuit et à son maximum d'éclat… mais indétectable à l'œil nu.

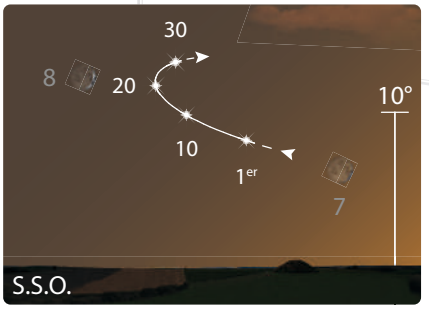
Notre conseil Pour le localiser, repérez d'abord la constellation d'Orion qui, à 23 h, domine l'horizon sud-est de sa silhouette caractéristique. Prolongez la ligne formée par les trois étoiles de sa ceinture et vous atteindrez Aldébaran, l'étoile la plus lumineuse du Taureau. Les 2 et 3, Cérès en sera tout proche, petite « étoile » anonyme visible aux jumelles.



NOUS SOMMES UNE DEMI-HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL, tournés vers le levant. La planète Mercure est visible en début de mois avant de plonger dans la direction du Soleil.



LE SOIR DU 10 ET DU 11, 1 H APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL, la Lune sera respectivement à 5° au sud de Saturne et à 5° au sud de Jupiter, dans la constellation du Capricorne.



VÉNUS, DONT LA POSITION EST INDIQUÉE TOUS LES 10 JOURS, est observable en soirée comme ici, 45 minutes après le coucher du Soleil. Elle reçoit la visite de la Lune les 7 et 8.

JUPITER La plus grosse des planètes est observable en soirée et première partie de nuit sous la forme d'un point très brillant que l'on trouve à une trentaine de degrés de hauteur vers le sud lorsque la nuit devient bien noire.

SATURNE La planète aux anneaux partage sensiblement les mêmes conditions d'observation que Jupiter, quoique moins brillante. Elle est visible en première partie de nuit, une quinzaine de degrés à l'ouest de Jupiter.

L'appli du mois

SKY TONIGHT Application Android gratuite en français (accès premium 5,49 euros). À l'aide de la réalité augmentée, elle détermine la nature des astres au-dessus de votre tête en pointant le téléphone vers eux, localise l'objet céleste de votre choix et offre des informations détaillées sur lui.

Scannez ce QR code pour découvrir la carte du ciel de novembre

A. BILLET / UNIVERSCIENCE

Céline Guivarch, directrice de recherche à l'École des ponts, auteure principale du 6e rapport du Giec, groupe 3.

Christophe Cassou, directeur de recherche au CNRS, auteur principal du 6e rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), groupe 1.

CLIMAT PAR CÉLINE GUIVARCH ET CHRISTOPHE CASSOU

Des liens étroits entre changement climatique et inégalités

Si les effets du changement climatique concernent toutes les régions du monde, les risques touchent de manière disproportionnée les pays les plus pauvres. Sans réduction des émissions de gaz à effet serre pour limiter le changement climatique, ses impacts continueront d'amplifier les inégalités. Chaque fraction de degré compte. Entre +1,5 °C et +2 °C, la durée moyenne des épisodes chauds passe de 15 à 26 jours sur le pourtour méditerranéen, particulièrement exposé et vulnérable.
À l'inverse, ce sont les pays les plus riches qui contribuent le plus à l'accumulation des gaz à effet de serre, mais avec, au sein même de ces pays, de fortes disparités dans l'empreinte carbone des ménages, les plus pauvres émettant le moins. Les économies développées portent une responsabilité historique car elles ont contribué à l'accumulation de gaz à effet de serre dans notre atmosphère pendant une plus longue période et sont donc responsables du niveau de réchauffement actuel et de l'augmentation des événements extrêmes associée. Ainsi, les émissions de CO_2 cumulées depuis la révolution industrielle des États-Unis représentent environ 25 % du total, celles de l'Union européenne 22 %, de la Chine 13 % et de l'Inde 3 %. Le changement climatique, tant dans ses causes que ses conséquences, est intimement lié aux inégalités mondiales. Les questions d'équité et de justice des actions pour des pays aux niveaux de développement très différents seront au cœur de la COP26, à Glasgow, au Royaume-Uni, en novembre. ■

CAMILLE CIER / HANS LUCAS

Directrice de l'institut Henri-Poincaré, à Paris.

MATHÉMATIQUES PAR SYLVIE BENZONI

Il faut davantage de mathématiciennes

Nous sommes six femmes pour 48 hommes au rang de professeur(e) des universités dans mon laboratoire de mathématiques : 11 % — dans la moyenne nationale —, un pourcentage qui stagne depuis des années. C'est une situation inconfortable, propice aux comportements sexistes.
Elle rend difficile pour les mathématiciennes de s'épanouir dans leur métier. Le mathématicien Henri Lebesgue affirmait en 1928 que les femmes étaient « *incapables* » d'absorber « *le vaste programme des hommes* ».
Cette idée reçue ancienne a la vie dure. S'il n'y a aucun doute aujourd'hui sur le fait que le genre n'a rien à voir avec l'aptitude aux mathématiques, les métiers concernés manquent de femmes. Avec des conséquences néfastes sur les évolutions de la société, comme la propagation des stéréotypes dans les systèmes d'intelligence artificielle. Les initiatives en faveur de la présence des femmes en mathématiques se multiplient : organisation de journées, de forums et de prix dédiés, règles de parité dans les instances universitaires, etc. Le monde des mathématiques est entretenu par un fort esprit de compétition : concours élitistes, prix et médailles où les femmes sont très peu représentées. La mathématicienne britannique Eugenia Cheng suggère de changer ce monde, en le rendant plus « congressif ». Autrement dit, pour faire court, d'encourager la coopération plus que la compétition. Alors peut-être sera-t-il plus accueillant pour les femmes. ■

ÉTHIQUE PAR JEAN-GABRIEL GANASCIA

La franchise académique n'est pas la liberté d'opinion !

Professeur à Sorbonne Université, à Paris, chercheur en intelligence artificielle au LIP6 (Sorbonne Université, CNRS), ex-président du comité d'éthique du CNRS. Dernier ouvrage publié : Le Mythe de la singularité. Faut-il craindre l'intelligence artificielle ? Le Seuil, 2017.

BRUNO LÉVY

Liberté d'opiner, de parler et de se manifester, nous vous chérissons toutes et vous plaçons au plus haut. Comment ne pas aspirer au droit de tout dire, sans filtre, ni interdit ? Comment ne pas vouer la censure aux gémonies, sauf lorsque les paroles blessent ou qu'elles incitent à la violence, à la haine et à la discrimination ?
Sur un registre proche, et pour reprendre les mots du philosophe Jacques Derrida dans *L'Université sans condition**, la franchise académique donne *« une liberté inconditionnelle de questionnement et de propositions, voire, plus encore, le droit de dire publiquement tout ce qu'exigent une recherche, un savoir et une pensée de la vérité »*. Les universitaires jouissent donc d'une entière et absolue liberté d'expression, sans frein aucun, et ce à double titre puisqu'à la liberté d'opinion du citoyen s'ajoute l'infinie liberté de questionnement du chercheur.
Cependant, tout en étant inconditionnelle, l'absolue liberté académique demeure subordonnée à la quête de vérité. Ceux qui s'y soustraient délibérément, en ignorant les règles de la démarche scientifique, n'en bénéficient plus. Ainsi en va-t-il de certains chercheurs qui, comme le sociologue Laurent Mucchielli, manifestent une opposition farouche à la vaccination dans les médias de masse, sans soumettre leurs arguments aux procédures d'évaluation par les pairs en vigueur dans la communauté scientifique. Personne ne leur dénie le droit d'exprimer en public leurs convictions, comme ils le font abondamment. Mais, ils ne sauraient se prévaloir de leur qualité de chercheur dans leurs prises de position que n'étaye aucune validation scientifique, au risque sinon d'introduire de la confusion, de fourvoyer le public et d'éloigner la manifestation de la vérité qui devrait pourtant être leur unique souci en tant que chercheur. ■

* Éditions Galilée, 2001.

L'ŒIL DE LASCAR

Depuis le 30 septembre, les ados sont soumis au passe sanitaire sauf au lycée : il ne peut être demandé ni aux élèves, ni aux professeurs, et l'accès aux établissements demeure libre. En revanche, les mineurs âgés de 12 à 17 ans doivent présenter le fameux QR code attestant, entre autres, qu'ils ont été vaccinés contre le Covid-19 ou qu'ils ont récemment réalisé un test négatif pour manger au restaurant, prendre un train de grande ligne, aller au cinéma ou à la piscine. **O. L.**

Sur notre site **sciencesetavenir.fr,** la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page **Facebook.** En voici une sélection.

ÉTHOLOGIE

Est-ce qu'un volatile peut bâiller ?

Fabrice F.

Oui tous les volatiles bâillent comme les humains lorsqu'ils sont fatigués. Une étude sur la perruche ondulée (*Melopsittacus undulatus*) a même permis de montrer en 2015 que le bâillement est contagieux chez cette espèce. C'est la première fois que des scientifiques ont mis en évidence la réciprocité du bâillement chez des non-mammifères. Ils ont proposé comme hypothèse que cette contagion serait l'expression d'une forme d'empathie. En effet, les perruches sont des animaux sociaux et cette sensibilité au comportement d'autrui permettrait une meilleure coordination entre les individus d'un même groupe. ■

Mathieu Nowak @mathieu_nowak

ASTRONOMIE

Pourquoi la Lune est-elle grise ?

J.-O. D.

Les images prises sur le sol lunaire et les échantillons rapportés par les missions Apollo ont révélé que le sol de notre satellite est tout ce qu'il y a de plus noir. Mais ce n'est pas parce qu'une surface est noire qu'elle ne réfléchit pas la lumière qui est projetée sur elle ! Prenons l'exemple du charbon de bois. Des mesures ont permis d'établir qu'il réfléchit 8 % de la lumière qu'il reçoit. Cette valeur, appelée albédo, est variable sur le sol lunaire. Elle est la plus faible au niveau des taches sombres que l'on nomme les « mers », constituées de basalte. Et augmente ailleurs jusqu'à 15 %, là où le sol est constitué majoritairement de calcium et d'aluminium. C'est donc en réfléchissant une petite part des rayons du Soleil que la Lune apparaît grise. ■ **M. N.**

GETTY IMAGES

À mesure que le corps vieillit, la vitesse à laquelle les images sont traitées par le cerveau diminue.

PHYSIOLOGIE

Pourquoi le temps nous paraît long enfant, mais semble filer en vieillissant ?

Sandra D.

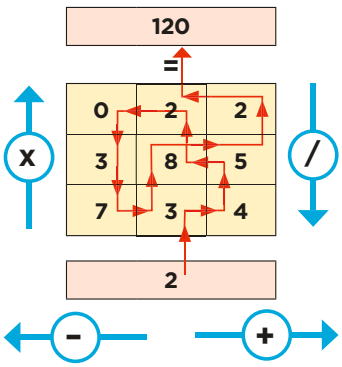
Selon Adrian Bejan, qui enseigne le génie mécanique à l'université Duke à Durham (États-Unis), le temps que nous percevons dépend des changements, notamment visuels, observés. « *L'esprit ressent le "changement de temps" lorsque l'image perçue change,* détaille-t-il. *Les gens sont souvent étonnés de voir combien ils se souviennent de jours qui semblaient durer éternellement dans leur jeunesse. Ce n'est pas que leurs expériences étaient beaucoup plus profondes ou plus significatives, mais juste qu'elles étaient traitées en rafale.* » Car selon lui, cet écart temporel apparent peut être imputé à la vitesse à laquelle les images sont obtenues et traitées par le cerveau humain, qui ralentit à mesure que le corps vieillit. La faute à la taille et à la complexité des réseaux de neurones qui grandissent avec le temps, obligeant les signaux à parcourir de plus longs trajets. De plus, ces réseaux vieillissent et se dégradent, ce qui confère une résistance accrue au flux de signaux électriques. En raison de ces phénomènes, le taux d'acquisition et de traitement de nouvelles images mentales diminue avec l'âge. Résultat : comme les personnes âgées affichent moins de nouvelles images dans le même laps de temps, il leur semble que le temps passe plus vite.

D'autres théories pourraient participer à l'explication de ce phénomène. Ainsi, il est couramment admis que notre perception du temps s'accélère à mesure que l'environnement nous est familier. Ainsi, un enfant pour qui tout est sujet à étonnement enregistrera davantage d'informations sur la même période que les adultes, ralentissant sa perception du temps. ■

Camille Gaubert @CamilleGaubertb

Solutions des jeux parus dans « Sciences et Avenir-La Recherche » n° 896, octobre 2021

Chemin arithmétique



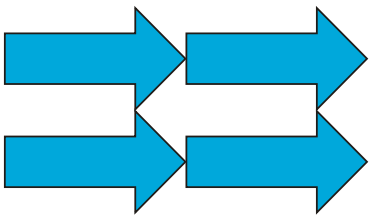
Neuf chiffres exactement

En fait, il y a au moins cinq autres solutions :
192 + 384 = 576
273 + 546 = 819
219 + 438 = 657
139 + 428 = 567
627 + 354 = 981

Logique lettriste

Les lettres rouges sont les dernières voyelles des mots qui suivent immédiatement ceux contenant au moins deux « n ». Il manque le « e » du mot « le » qui suit « flanquant ». Les lettres bleues sont les « t » qui figurent dans les mots contenant aussi les voyelles « a » et « o ». Il manque le « t » de « bourgeonnants ».

Quatre flèches en une



Rêves de voitures

La voiture commune idéale peut être : un cabriolet jaune (1) équipé d'une caméra de recul (4), de roues à rayons (3) et de sièges en tissu (2).

Une formidable diversité

11 fois par an, l'actualité des savoirs pour tous

N° 888
Vaincre le stress

N° 889
La solution hydrogène

N° 890
Microbiotes

N° 891
Découvrir les confins de l'Univers

N° 892
Vaccins contre le cancer

N° 893/894
100 trésors scientifiques

N° 895
Explorer l'espace

N° 896
Les super pouvoirs du cerveau

Bon de commande

Je commande les numéros ci-après au prix de : 7 € par numéro payable par chèque à l'ordre de *Sciences et Avenir* (port compris pour la France). Bon de commande à retourner à :

Sciences et Avenir
service des abonnements
45 av. du Général-Leclerc 60643 Chantilly Cedex

❑ N° 888 ❑ N° 889 ❑ N° 890 ❑ N° 891
❑ N° 892 ❑ N° 893/894 ❑ N° 895 ❑ N° 896

Nom : .....
Adresse : .....
..... Ville : .....
Code postal : .....

PAR PIERRE BERLOQUIN

Énigmes, logique et mathématiques

Retrouvez chaque mois des problèmes ludiques pour solliciter votre curiosité. Solutions dans le prochain numéro.

Dumas et des lettres

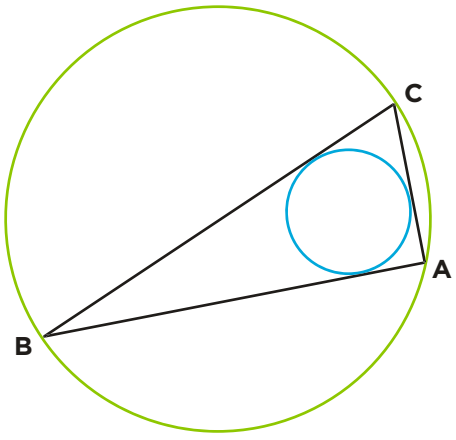
Voici six titres de romans d'Alexandre Dumas. D'un point de vue alphabétique, deux de ces titres ont une relation très particulière.

Quels sont-ils et pourquoi ?

1 Les Trois Mousquetaires
2 Le Vicomte de Bragelonne
3 Le Chevalier de Maison-Rouge
4 Le Comte de Monte-Christo
5 La Dame de Monsoreau
6 Les Compagnons de Jéhu

Cercles et rayons

Soit un triangle rectangle ABC inscrit dans un cercle. AC = 5 et AB = 12. Saurez-vous calculer le rayon du grand cercle et celui du cercle inscrit dans le triangle ?



Des quatre et des cinq

399 peut être obtenu en soumettant des 4 et des 5 à quelques opérations :

5 x 4 x 5 x 4 - 5 + 4 = 399.

Saurez-vous obtenir le même résultat avec seulement deux 5 et deux 4 ?

Matoku 8x8 ++

Dans ce carré latin, chaque ligne et chaque colonne comprennent une seule fois les nombres de 1 à 8. Les nombres en coin donnent le résultat de l'opérateur sur la zone de même couleur. Les opérateurs sont, outre +, -, x, /, S pour suite et M pour moyenne arithmétique. Sans opérateur, c'est le nombre lui-même.

6M			12+	S	3-		10+
1-					21+		
4M		6/					
			19+		19+		
140X					72X		
					2	21+	
48X	17+		25+		30X		

Au salon du Vistemboir

Alain et ses associés Basile, Côme et Damien doivent présenter un nouveau produit au salon du Vistemboir : un perval, un morfeur, un grustère et un varphon. La présentation est imminente.

1 Celui qui doit présenter le perval manipule le produit que doit présenter Côme.
2 Alain, en survêtement, bavarde avec l'hôtesse d'accueil.
3 le varphon n'est pas encore sorti de son emballage.
4 Damien est parti téléphoner.
5 le technicien installe le morfeur sur son présentoir.
6 ce n'est pas Damien qui doit présenter le varphon.

Qui va présenter quoi ?

Énigmes Créalude, Pierre Berloquin, Jean-Thierry Garrigues

A vos côtés, pour votre santé !

Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !

OFFRE DÉCOUVERTE dès **5€**

LABORATOIRES ILAPHARM

www.ilapharm.com

**Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.*

Jambes légères
VIGNE ROUGE BIO

Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables**.

5€ 45 gélules ~~10,80€~~

Mobilité articulaire
HARPAGOPHYTUM BIO

Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3)*

5€ 45 gélules ~~11,00€~~

Brûle-graisse
GUARANA BIO

Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids**. *(1), (2), (5).*

6€ 45 gélules ~~11,70€~~

Libido
MACA BIO

Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel**.

6€ 45 comprimés ~~12,70€~~

Os et articulations
SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C

Vitamine C (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.

7€ 45 gélules ~~15,00€~~

Sommeil
PASSIFLORE BIO

Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité**. Ni accoutumance, ni somnolence.

6€ 45 gélules ~~11,40€~~

Prostate
HUILE DE COURGE BIO

Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie**. Pour un **bon confort urinaire**.

5€ 45 capsules ~~11,10€~~

Fatigue nerveuse
MAGNÉSIUM MARIN et B6

Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux**. *(6), (8).*
*Allergène : **poisson**.*

6€ 45 gélules ~~11,00€~~

Cholestérol
AIL NOIR BIO

Il aide au maintien d'un **taux normal de cholestérol** et possède un **effet cardioprotecteur**.

6€ 30 gélules ~~9,50€~~

Vigueur sexuelle
SAFRAN BIO

Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel**. *(2), (4).*

7€ 30 gélules ~~16,00€~~

Vitalité - Immunité
GINSENG SIBÉRIEN BIO

Stimulant et **énergisant**, il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire**.

6€ 45 gélules ~~12,00€~~

Foie - Draineur
ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO

L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie**.

6€ 10 ampoules ~~13,80€~~ *(2), (9).*

Capacité sexuelle
TRIBULUS

Elle favorise le **désir**, la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.

7€ 60 gélules ~~16,00€~~

Un esprit vif
GINKGO BILOBA BIO

Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte**. *(2), (4), (7).*

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

Articulations
FRÊNE BIO

Pour le bon fonctionnement des articulations. **Gardez le plaisir de bouger !**

5€ 45 gélules ~~10,90€~~

Défenses naturelles
ÉCHINACÉA BIO

Aide au bon fonctionnement du système de **défenses naturelles et respiratoire** (bouche et gorge).

6€ 45 gélules ~~11,30€~~

Vos 3 Cadeaux

La Brosse à dents Electrique PRO+ OFFERTE

Brosse à dents fonctionnant avec 2 piles LR06-AA (non fournies). Fournie avec 1 tête de brossage et 1 capuchon de protection.
Dim. : 20,6 x 3,5 cm.

Les Frais de Port OFFERTS
Dès 15€ d'achat — **0€**

dès 5€ Tous vos produits
ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

Harpagophytum BIO	~~11,00~~	5,00€
Artichaut - Radis Noir BIO	~~13,80~~	6,00€
Vigne Rouge BIO	~~10,80~~	5,00€
Safran BIO	~~16,00~~	7,00€
Tribulus	~~16,00~~	7,00€
La Brosse à dents électrique		OFFERTE
Frais de port	~~5,80~~	OFFERTS
TOTAL	~~73,40~~	**30,00€**

(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (50 mg par jour). (6) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (7) Ne pas associer avec des anti-coagulants. (8) Possible effet laxatif. (9) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ☐ M^me ☐ M^r

Nom, Prénom : .....

Adresse : .....

.....

Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....

Votre date d'anniversaire : |_|_|_|_|19|_|_|

E-mail* : .....

pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**

et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** **Recommandé pour la livraison.*

Choisissez votre mode de paiement

☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**

N° |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Date d'expiration : |_|_|_|_|

Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|

Signature :

☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

NOM DU PRODUIT	RÉF.	QTÉ	PRIX RÉDUIT	TOTAL
Vigne Rouge BIO	PVRB45		5€	
Harpagophytum BIO	PHAB45		5€	
Guarana BIO	PGUB45		6€	
Maca BIO	PMAB45		6€	
Silicium Organique et Vitamine C	PSV45		7€	
Passiflore BIO	PPAB45		6€	
Huile de Courge BIO	PPCB45		5€	
Magnésium Marin et B6	PMM45		6€	
Ail Noir BIO NOUVEAU	PANB30		6€	
Safran BIO	PSFB		7€	
Ginseng Sibérien BIO	PGSB45		6€	
Artichaut - Radis Noir BIO	PXRAB		6€	
Tribulus	PTR		7€	
Ginkgo Biloba BIO	PGBB45		6€	
Frêne BIO	PFNB45		5€	
Echinacéa BIO	PECB45		6€	
☐ Je reçois GRATUITEMENT ma BROSSE À DENTS et mon CATALOGUE				OFFERTS
☐ Ma commande atteint 15€, j'économise 5,80€ sur les frais de port				OFFERTS
☐ Ma commande est inférieure à 15€, je rajoute 5,80€				
CODE PRIVILÈGE : CS427			TOTAL À RÉGLER	.....€

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.manger-bouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

NOS GARANTIES :

PAYEZ DANS 1 MOIS

*Envoyez votre **règlement par chèque, avec votre bon de commande**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.*

Charte Qualité fevad — synadiet — Traitement Rapide 24h COLIECO

POUR COMMANDER :

Par internet :
www.ilapharm.com

Par téléphone :
01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h -13h et 14h -18h

Par courrier :
Laboratoires ILAPHARM
C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

TGV INOUI

VOYAGEZ AVEC VOTRE TEMPS

C'EST NOUVEAU ÇA VA VOUS DIVERTIR.

WIFI À BORD[1]

NOUVEAU SUR LE PORTAIL TGV INOUI[2]

PRESSE DIGITALE, FILMS, PODCASTS, JEUX, DOCUMENTAIRES... GRATUITS

RENDEZ-VOUS SUR OUI.SNCF, EN GARES, BOUTIQUES, AGENCES DE VOYAGES AGRÉÉES SNCF ET PAR TÉLÉPHONE.

(1) Offre disponible sur les trains TGV INOUI équipés du wifi. La disponibilité du wifi dépend de la couverture des opérateurs. (2) Le Portail TGV INOUI propose une interface personnalisée en fonction du titre de transport. L'utilisateur a notamment accès à une offre de presse digitale, non remboursable, disponible exclusivement sur le territoire français. Cette prestation est offerte à tous les clients authentifiés sur le réseau Wifi SNCF_TGV_INOUI. Pour en savoir plus, vous pouvez consulter les articles 2.6 et 3.4 des conditions générales d'utilisation du Portail TGV INOUI accessible à bord en vous connectant au wi-fi. TGV INOUI est une marque enregistrée de SNCF Voyageurs. Tous droits de reproduction réservés. SNCF Voyageurs, SA au capital social de 157 789 960 euros, inscrite au RCS de Bobigny sous le numéro 519 037 584 - 9, rue Jean-Philippe Rameau - 93200 Saint-Denis Cedex. ROSA PARIS

SNCF